



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil

PAULA REGINA MENDES GRÜNBERG

**AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROJETO
PARA CLIMA QUENTE E ÚMIDO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO**

Estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC

**CURITIBA
2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil

PAULA REGINA MENDES GRÜNBERG

AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROJETO PARA CLIMA QUENTE E ÚMIDO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO

Estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

CURITIBA
2014

G888a

Grünberg, Paula Regina Mendes

Avaliação das estratégias bioclimáticas de projeto para clima quente e úmido através de simulação : estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC / Paula regina Mendes Grünberg. – Curitiba, 2014.
184f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, 2014.

Orientador: Sergio Fernando Tavares.

Bibliografia: p. 159-168.

1. Arquitetura e clima. 2. Bioclimatologia. 3. Habitações - Joinville (SC) - Conforto térmico. I. Universidade Federal do Paraná. II. Tavares, Sergio Fernando. III. Título.

CDD: 690.8047

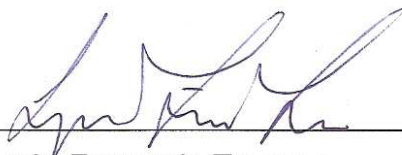
TERMO DE APROVAÇÃO

PAULA REGINA MENDES GRÜNBERG

AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROJETO PARA CLIMA QUENTE E ÚMIDO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM JOINVILLE/SC

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

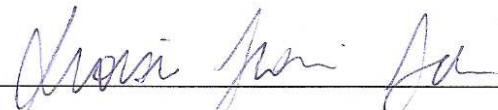
Orientador:



Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil,
UFPR.

Examinadores:



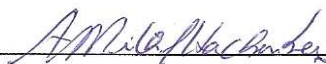
Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil,
UFPR.



Profª Drª Mirian Jerônimo Barbosa

Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e
Urbanismo, UEL– PR.



Profª Drª Ana Mirthes Hackenberg

Departamento de Engenharia Civil, UDESC.

Curitiba, 14 de abril de 2014

AGRADECIMENTOS

- Ao Comitê Cubatão Cachoeira Joinville, através da Univille, pela cessão dos dados climáticos utilizados nesta pesquisa.
- Aos professores Sergio Fernando Tavares e Aloísio Leoni Schmid, pela dedicação e paciência na orientação deste trabalho.
- Às professoras Solange Goulart e Ana Mirthes Hackenberg, pela orientação recebida.
- À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de Mestrado.
- À minha mãe e irmão, por me abrigarem com carinho neste período de estudo.
- Ao meu querido esposo, pelo apoio e compreensão de sempre.
- Aos meus colegas de Mestrado, pelo companheirismo e amizade conquistados.
- E a todos os que direta ou indiretamente auxiliaram na realização desta dissertação.

RESUMO

O aumento do consumo de energia, principalmente em países emergentes como o Brasil, e a busca por eficiência energética impulsiona uma mudança de comportamento. O crescimento da demanda de energia deve-se em parte, pela elevação do poder aquisitivo da população, que possibilita a aquisição de bens de consumo para conforto, como é o caso dos condicionadores de ar. Na contramão desta realidade, investigações realizadas em algumas cidades brasileiras comprovam melhora no desempenho térmico das edificações que fazem uso de estratégias bioclimáticas, diminuindo a necessidade de condicionamento artificial para o conforto do usuário. A partir deste e de outros conhecimentos já amadurecidos, objetivou-se com este trabalho explicar o efeito das táticas passivas de condicionamento térmico indicadas para clima de Joinville/SC, através da avaliação da performance térmica de uma unidade habitacional unifamiliar. Para este fim foi realizada a simulação computacional de um projeto residencial padrão, em sete modelos de composição construtiva e diferentes configurações de ocupação e taxa de ventilação. As estratégias passivas de condicionamento indicadas para Joinville foram constatadas com a elaboração da carta bioclimática e pelo estudo da NBR 15220/03: Desempenho térmico de edificações. A partir destas informações foram definidos os modelos a serem simulados e os parâmetros de conforto e desempenho utilizados como referência nesta pesquisa foram os definidos por Givoni (1992) e pela NBR 15575/08: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. A análise dos resultados das experimentações demonstrou que tanto as táticas indicadas no diagrama bioclimático quanto as preconizadas pela NBR 15220/03 são eficientes para amenizar o desconforto por calor, mas tem um efeito menor nos dias frios. Foi comprovado que a ventilação natural noturna é interessante para restaurar o conforto em dias quentes, mas somente quando as temperaturas externas são mais baixas que as internas. O inverso foi averiguado ao utilizar-se a ventilação diurna no inverno, pois, a incidência da radiação solar eleva as temperaturas externas e leva ao aumento das temperaturas internas. Dentre os resultados alcançados verificou-se a necessidade de priorizar estratégias para amenizar o desconforto por frio, assim como que o sistema de cobertura exerce maior influência sobre o desempenho térmico do caso estudado do que a inércia térmica das vedações verticais.

Palavras-chave: Estratégias bioclimáticas; desempenho térmico; simulação; Joinville.

ABSTRACT

The increase in energy consumption, especially in emerging countries such as Brazil, and the quest for energy efficiency drives behavior change. The growth in energy demand is due in part by rising purchasing power, which enables the acquisition of consumer goods, that improve life-comfort, such as air conditioners. In opposition, investigations in some Brazilian cities show improvement in the thermal performance of buildings that make use of bioclimatic strategies, reducing the need, for the comfort of the user, of artificial air-conditioning systems. Derived from this and other mature knowledge and conceptions, the aim of this work is to explain the effect of passive thermal conditioning tactics suited to climate Joinville/SC, by evaluating the thermal performance of a single-family household unit. To this end a computer simulation of a standard residential project was carried out in seven models of constructive and different configurations of occupancy and ventilation rate composition. Passive strategies conditioning suitable for Joinville were found with the development of bioclimatic chart and study of NBR 15220/03: Thermal performance of buildings. From this information the models were defined to be simulated and the parameters of comfort and performance used as reference in this study were defined by Givoni (1992) and the NBR 15575/08: Residential buildings of up to five floors - Performance. The results of the experiments showed that both the tactics listed in bioclimatic diagram as recommended by the NBR 15220/03 are effective to alleviate the discomfort of heat but have a smaller effect on cold days. It has been proven that night natural ventilation is interesting to restore comfort on hot days, but only when outside temperatures are lower than internal. The reverse was ascertained by using daytime ventilation in winter, because the incidence of solar radiation raises the ambient temperatures and leads to increased internal temperatures. Among the achievements there was the need to prioritize strategies to alleviate the discomfort from cold as well as the roofing system has more influence on the thermal performance of the case study of the thermal inertia of the vertical seals.

Keywords: Bioclimatic strategies; thermal performance; simulation; Joinville.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Carta bioclimática de Olgyay para Phoenix, Arizona.....	29
Figura 2: Calendário de necessidades climáticas	29
Figura 3: Relação entre a média mensal de pressão de vapor e a amplitude de temperatura do ar externo em diferentes regiões	31
Figura 4: Carta bioclimática de Colima, México (de clima quente e úmido)	32
Figura 5: Pressões do vento.....	39
Figura 6: (a) Exemplo de caso com vento e sem ventilação cruzada.....	39
(b) Obstáculos que criam correntes cruzadas.	39
Figura 7: Exemplo de curvas de variação de temperaturas externa e interna de um recinto ..	42
Figura 8: Zoneamento bioclimático brasileiro	50
Figura 9: Nova proposta de zoneamento bioclimático brasileiro	53
Figura 10: Diagrama bioclimático baseado em Koenigsberger	64
Figura 11: Mapa das normais climatológicas do Brasil 1961-1990 – temperatura média compensada	65
Figura 12: Etapas do estudo	72
Figura 13: Sequência da simulação	74
Figura 14: Parâmetros do processo	76
Figura 15: Zonas da carta bioclimática das Normais de Joinville (2001-2011).....	82
Figura 16: Zonas da carta bioclimática das Normais de Joinville (2001-2011).....	82
Figura 17: Rosa dos Ventos anual 2011	92
Figura 18: Rosa dos Ventos verão 2011	93
Figura 19: Rosa dos Ventos inverno 2011	94
Figura 20: Rosa dos Ventos primavera 2011	95
Figura 21: Rosa dos Ventos outono 2011	96
Figura 22: Planta projeto padrão R1-B	99
Figura 23: Planta R1-B alterada e ambientes representativos	100
Figura 24: Parte de um arquivo .obj do programa MESTRE	102
Figura 25: Interface do programa MESTRE	103
Figura 26: Corte da cobertura vegetada.....	117
Figura 27: Temperaturas DTV modelo de referência - A	121
Figura 28: Temperaturas DTI modelo de referência - A	122
Figura 29: Temperaturas DTV modelo de referência - AV	123

Figura 30: Temperaturas DTI modelo de referência - AI.....	125
Figura 31: Temperaturas DTV modelo de referência - B.....	126
Figura 32: Temperaturas DTI modelo de referência - B	127
Figura 33: Temperaturas DTV modelo 1 – B1	129
Figura 34: Temperaturas DTI modelo 1 – B1	129
Figura 35: Temperaturas DTV modelo 2 – B2	131
Figura 36: Temperaturas DTI modelo 2 – B2	131
Figura 37: Temperaturas DTV modelo 2 – BV2.....	133
Figura 38: Temperaturas DTI modelo 2 – BI2	134
Figura 39: Temperaturas DTV modelo 3 – B3.....	135
Figura 40: Temperaturas DTI modelo 3 – B3	136
Figura 41: Temperaturas DTV modelo 3 – BV3.....	137
Figura 42: Temperaturas DTV modelo 4 – B4.....	138
Figura 43: Temperaturas DTI modelo 4 – B4	139
Figura 44: Temperaturas DTV modelo 4 – BV4.....	140
Figura 45: Temperaturas DTI modelo 4 – BI4	141
Figura 46: Temperaturas DTV modelo 5 – B5.....	142
Figura 47: Temperaturas DTI modelo 5 – B5	143
Figura 48: Temperaturas DTV modelo 5 – BV5.....	144
Figura 49: Temperaturas DTI modelo 5 – BI5	145
Figura 50: Temperaturas DTV modelo 6 – B6.....	147
Figura 51: Temperaturas DTI modelo 6 – B6	147
Figura 52: Temperaturas DTV modelo 6 – BV6.....	149
Figura 53: Temperaturas DTI modelo 6 – BI6.....	150

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Janelas e ventilação (números em kWh/dia)	40
Tabela 2: Exemplo para uma parede de 30cm.....	46
Tabela 3: Definição das 16 zonas bioclimáticas para o Brasil	52
Tabela 4: Transmitância térmica de paredes externas	55
Tabela 5: Capacidade térmica de paredes externas	56
Tabela 6: Critério para coberturas quanto à transmitância térmica	56
Tabela 7: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	56
Tabela 8: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	57
Quadro 1: Médias mensais de Joinville de 2001 a 2011.....	81
Quadro 2: Classificação dos meses mais quentes e mais frios.....	84
Quadro 3: Segunda classificação dos meses mais quentes e frios	85
Quadro 4: Terceira classificação dos meses mais quentes e mais frios	85
Quadro 5: Ordenação de dias quentes nas ocorrências de 2,5%, 5,0% e 10,0%	88
Quadro 6: Ordenação de dias frios nas ocorrências de 2,5%, 5,0% e 10,0%	89
Quadro 7: Dias típicos para o nível de ocorrência de 2,5%	90
Quadro 8: Dias típicos para o nível de ocorrência de 5,0%	90
Quadro 9: Dias típicos para o nível de ocorrência de 10,0%	90
Quadro 10: Dias típicos de inverno e verão de 2011	91
Tabela 9: Estratégias bioclimáticas para Joinville/SC.....	98
Tabela 10: Componentes construtivos modelo de referência	101
Tabela 11: Resumo das faixas de conforto térmico.....	102
Quadro 11: Simulações teste	106
Quadro 12: Padrões de ventilação simulados.....	107
Quadro 13: Padrão de ocupação simulado	108
Tabela 12: Parâmetros de desempenho térmico de componentes construtivos.....	108
Tabela 13: Componentes construtivos modelo 1	109
Tabela 14: Componentes construtivos modelo 2.....	111
Tabela 15: Componentes construtivos modelo 3.....	112
Tabela 16: Componentes construtivos modelo 4.....	114
Tabela 17: Componentes construtivos modelo 5.....	115
Tabela 18: Componentes construtivos modelo 6.....	117
Quadro 14: Resumo situações das simuladas.....	119

Quadro 15: Resultados simulação A modelo de referência	123
Quadro 16: Resultados simulação AV modelo de referência	124
Quadro 17: Resultados simulação AI modelo de referência	126
Quadro 18: Resultados simulação B modelo de referência.....	128
Quadro 19: Resultados simulação B1 modelo 1	130
Quadro 20: Resultados simulação B2 modelo 2	132
Quadro 21: Resultados simulação BV2 modelo 2	133
Quadro 22: Resultados simulação BI2 modelo 2	134
Quadro 23: Resultados simulação B3 modelo 3	137
Quadro 24: Resultados simulação BV3 modelo 3	138
Quadro 25: Resultados simulação B4 modelo 4	139
Quadro 26: Resultados simulação BV4 modelo 4	140
Quadro 27: Resultados simulação BI4 modelo 4	141
Quadro 28: Resultados simulação B5 modelo 5	144
Quadro 29: Resultados simulação BV5 modelo 5	145
Quadro 30: Resultados simulação BI5 modelo 5	146
Quadro 31: Resultados simulação B6 modelo 6	148
Quadro 32: Resultados simulação BV6 modelo 6	149
Quadro 33: Resultados simulação BI6 modelo 6	150
Quadro 34: Resumo dos resultados das simulações.....	151

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditiong Engineers*

BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

CCJ – Comitê Cubatão Cachoeira Joinville

CUB – custo unitário básico

DTI – dia típico de inverno

DTV – dia típico de verão

EUA – Estados Unidos da América

GhC – graus-hora de calor

GhF – graus-hora de frio

IEA – *International Energy Agency*

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

PIB – Produto Interno Bruto

PC – computador pessoal (*Personal Computer*)

PSDE – programa de simulação de desempenho de edificações

PMV – *Predicted Mean Vote*

PPD – *Percentage of Dissatisfield*

TBS – temperatura de bulbo seco

TBU – temperatura de bulbo úmido

TRY – Ano climático de referência (*Test Reference Year*)

TSV – voto de temperatura sensível

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UH – unidade habitacional

ZB – zona bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

- α – absorptância à radiação solar
- a – difusidade
- b – efusividade
- c – calor específico
- C_T – capacidade térmica total
- $C_{T_{ext}}$ – capacidade térmica da camada externa
- Δt – diferença de temperatura, em °C
- k – capacidade térmica
- ρ – massa específica
- ϕ – atraso térmico, em horas
- R_t – resistência térmica
- T_a – temperatura do ar, em °C
- T_{max} – médias das temperaturas máximas mensais, em °C
- T_{min} – médias das temperaturas mínimas mensais, em °C
- T_{med} – médias das temperaturas mensais, em °C
- μ – calor específico volumétrico, em J/m³/°C
- U – Transmitância térmica, em W/m².K
- UR – umidade relativa do ar, em %
- V – velocidade do vento, em m/s
- $v. p.$ – pressão de vapor
- λ – condutividade térmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problematização	16
1.2	Hipótese.....	17
1.3	Objetivo.....	18
1.4	Justificativa.....	18
1.4.1	Justificativa ambiental	18
1.4.2	Justificativa social.....	19
1.4.3	Justificativa econômica.....	20
1.4.4	Justificativa tecnológica.....	21
2	CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES.....	22
2.1	Conforto térmico	22
2.1.1	Estudos em conforto térmico	23
2.2	Arquitetura bioclimática	26
2.2.1	Carta bioclimática	28
2.2.1.1	<i>Carta bioclimática para o Brasil.....</i>	<i>33</i>
2.2.2	Estratégias bioclimáticas para clima quente e úmido	34
2.2.2.1	<i>Ventilação</i>	<i>38</i>
2.2.2.2	<i>Inércia térmica.....</i>	<i>41</i>
2.3	Desempenho térmico de edificações	46
2.3.1	Normas brasileiras de desempenho térmico	49
2.4	Simulação computacional de desempenho térmico.....	57
3	JOINVILLE/SC	62
3.1	Breve histórico	62
3.2	Climatologia da região.....	63
3.3	Conforto térmico em joinville	65
4	MÉTODO DE PESQUISA	68
4.1	Definição da estratégia de pesquisa.....	68
4.1.1	Unidade de análise	68
4.1.2	Delimitação do trabalho.....	68
4.1.3	Justificativa da escolha a partir do objetivo.....	69
4.1.4	Testes de Validade.....	69
4.2	Protocolo de coleta de dados	71

4.2.1	Seleção do caso ou amostra	72
4.2.2	Simulação computacional	73
4.2.2.1	<i>Processo de simulação no MESTRE</i>	74
4.3	Método de análise dos dados	77
5	DADOS CLIMÁTICOS DE JOINVILLE/SC.....	78
5.1	Carta bioclimática de joinville/sc.....	80
5.1.1	Desenvolvimento da carta bioclimática de Joinville/SC	80
5.1.2	Apresentação e análise dos resultados	81
5.2	Ano climático de referência – TRY	83
5.3	Dias típicos de projeto.....	86
5.4	Ventos	91
6	SIMULAÇÃO.....	98
6.1	Dados inseridos na simulação	102
6.1.1	Simulações teste.....	106
6.1.2	Parâmetros e padrões simulados	107
6.1.3	Modelo 1	109
6.1.4	Modelo 2	110
6.1.5	Modelo 3	112
6.1.6	Modelo 4.....	113
6.1.7	Modelo 5	114
6.1.8	Modelo 6.....	116
6.1.9	Resumo das simulações	118
7	RESULTADOS.....	120
7.1	Modelo de referência.....	120
7.2	Modelo 1.....	128
7.3	Modelo 2.....	130
7.4	Modelo 3.....	135
7.5	Modelo 4.....	138
7.6	Modelo 5.....	142
7.7	Modelo 6.....	146
7.8	Análise dos resultados.....	151
8	CONCLUSÕES	154
8.1	Análise crítica dos resultados.....	155
8.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	158

REFERÊNCIAS	159
APÊNDICES	169
ANEXOS.....	181

1 INTRODUÇÃO

Entre 2003 e 2007, o crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, Rússia, Índia, China juntos representou 65% da expansão do PIB mundial. Com a inclusão da África do Sul em 2011, o agrupamento destes países passou a ser designado BRICS e “Em paridade de poder de compra, o PIB dos BRICS já supera hoje o dos EUA ou o da União Europeia” (ITAMARATY, 2013). Este crescimento se reflete também no poder de compra das famílias brasileiras e consequentemente no consumo energético. Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) mostram que, de 1987 a 2000, o crescimento do consumo de energia elétrica residencial no Brasil passou de 39 TWh para cerca de 84 TWh por ano. Nos 12 estados pesquisados pelos citados autores, o uso de condicionadores de ar já representava 10% do consumo energético.

Apesar de 76,9% da energia elétrica brasileira ser gerada por fonte renovável (hidroelétricas) (BRASIL, 2013), o crescimento do consumo cria a necessidade de expansão da rede e consequentemente mais impactos ao meio ambiente, como o aumento da emissão de CO₂ e outros gases poluentes. Esse panorama caminha na contramão da sustentabilidade e demonstra que o conforto térmico nas edificações residenciais depende de recursos mecânicos. Contudo, em muitos casos é possível minimizar os efeitos do clima sobre a edificação e melhorar a qualidade térmica dos ambientes através de soluções arquitetônicas.

A intenção de reverter este quadro fica evidente no estudo bibliográfico elaborado por Cañas-Guerrero *et al.* (2014). A pesquisa comprova que houve grande expansão da atividade de pesquisa com o tema “Construção e Tecnologia da Construção”, principalmente arrolado à eficiência energética e conforto nas edificações. Com a avaliação dos artigos e resumos publicados contidos no banco de dados *Web of Science*, os autores identificaram alto índice de pesquisas relacionadas à simulação, meio ambiente, energia e conforto térmico.

O conforto térmico dos ambientes edificadas é tema recorrente na literatura acadêmico-científica. O primeiro a elaborar propostas sistematizadas de avaliações do conforto térmico nas edificações foi Olgyay em 1963 (GIVONI, 1992). O citado autor estudou os efeitos e as contribuições das variáveis climáticas no projeto, chamada Arquitetura Bioclimática, e elaborou as primeiras cartas bioclimáticas. Em 1992, Givoni publicou uma importante contribuição ao tema. Em seu artigo, o autor propõem algumas adaptações às cartas de Olgyay, tendo como referencia as temperaturas internas e incluindo as experiências dos usuários. Outra contribuição relevante é a de Fanger (1982), que desenvolveu modelos matemáticos para identificar a satisfação térmica dos ocupantes e do qual resultaram nas normas ASHARAE *Standard 55* (ASHARAE, 2003) e ISO 7730 (ISO, 1984). Também se

tem significativos estudos feitos por Humphreys e outros pesquisadores seguindo uma vertente diferente para avaliação dos índices de conforto, chamado de modelo adaptativo (NICOL e HUMPHREYS, 2002).

A partir da carta bioclimática de Givoni (1992), Goulart *et al.*(1994), elaboraram o diagrama para o Brasil, considerando o clima específico do país. Este procedimento deu-se com a inserção das equações de Fanger (1982) em cartas de vários autores, e concluíram que a de Givoni (1992) seria a mais adequada à realidade brasileira. Este diagrama serviu de base para a delimitação do zoneamento bioclimático brasileiro, que consta na NBR 15220-3/03.

A preocupação com o desempenho dos edifícios no Brasil ficou mais evidente com a entrada em vigor, em julho de 2013, da NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. No caso específico da performance térmica, a citada norma se refere à NBR 15220-3/03 e determina alguns parâmetros de propriedades físicas dos componentes construtivos para identificar o nível de desempenho.

Sendo assim, este trabalho teve a intenção de verificar a eficácia das estratégias passivas de condicionamento térmico, indicadas pela carta bioclimática, para o desempenho térmico dos ambientes construídos em Joinville/SC, de clima quente e úmido. Os parâmetros a serem atendidos neste estudo para confirmar esta hipótese é a faixa de conforto térmico definida por Givoni (1992) e os critérios de desempenho preconizados pela NBR 15575/08.

A estratégia utilizada nesta investigação abrange tanto a experimentação quanto o estudo de caso. O experimento foi aqui utilizado por ser indicado quando o foco da pesquisa está nos resultados (ROBSON, 2002). Mas, pela generalização das conclusões ser analítica, por tratar-se da investigação de uma tipologia construtiva específica, também caracteriza-se como um estudo de caso (YIN, 2010). Sendo assim, a pesquisa foi realizada através da simulação computacional de modelos de uma unidade habitacional unifamiliar, inseridos no contexto climático da localidade citada. Para cada modelo foram definidos diferentes componentes construtivos selecionados com base na literatura estudada.

1.1 Problematização

Dois estudos demonstram uma proporção de em torno de 40% de usuários insatisfeitos com o ambiente térmico edificado em Joinville. O primeiro deles, realizado por Lopes (2009) em edificações residenciais, identificou um índice de insatisfação de 45% em relação às temperaturas no inverno e de 38% com relação às temperaturas dos ambientes internos no

verão. Na investigação desenvolvida por Batiz *et al.* (2009), a proporção de insatisfeitos com o conforto térmico de salas de aula artificialmente condicionadas ficou em 35,2%

A partir destas constatações, o presente trabalho visa responder o seguinte problema de pesquisa:

Quais são as estratégias passivas de condicionamento térmico indicadas para o clima de Joinville, Santa Catarina, e qual o efeito das mesmas no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar?

1.2 Hipótese

O conhecimento das técnicas de condicionamento passivo, principalmente para resfriamento, está em uma fase de maturidade (SANTAMOURIS e KOLOKOTSA, 2013). Investigações realizadas em cidades brasileiras de clima quente e úmido e de altitude próxima ao nível do mar apontam a eficácia de algumas estratégias bioclimáticas no controle térmico dos ambientes edificados.

No estudo realizado na cidade de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, a autora atestou que o uso de massa térmica, o aquecimento solar passivo e ventilação são suficientes para o conforto térmico em residências unifamiliares (ANDRADE, 1996).

Pode-se mencionar também a investigação realizada por meio da simulação computacional, onde Marcondes *et al.* (2010) identificaram que, para condições climáticas da cidade do Rio de Janeiro, os ambientes com ventilação natural encontram-se em condições análogas às condições externas à sombra. Isto significa adequação arquitetônica ao clima. Tratando-se do estudo de edificações industriais, verificou-se a influência de pés-direitos altos, assim como do sombreamento, do isolamento térmico para o exterior e da inércia térmica no interior. Os autores verificaram que, em ambientes com menores dimensões, cargas térmicas reduzidas e massa térmica interna, como gabinetes e laboratórios, o desempenho apresentou melhor resultado, principalmente pela ventilação natural.

Tem-se também a afirmação de Fonseca, *et al.* (2010), que resume alguns dos resultados da aplicação de estratégias passivas de condicionamento térmico em uma cidade de clima quente e úmido:

Decisões de arquitetura em fases iniciais de projeto, como implantação, uso de áticos ventilados, instalação de elementos de sombreamento nas fachadas, poucas aberturas na fachada oeste, grandes envidraçados com controle do ganho térmico, cores claras nas fachadas e coberturas, cobertura naturada e materiais de construção que proporcionem baixa transmitância térmica, somadas ao bom projeto de aberturas que proporcionem ventilação cruzada interior, são alguns dos recursos que põem em

prática as recomendações de Givoni (1992) e Lippsmeier (1980) para o clima tropical quente e úmido do Rio de Janeiro e que garantem a eficiência energética de um projeto de arquitetura (FONSECA, *et al.*, 2010)

A partir destas considerações e do estudo da literatura, esta pesquisa parte da hipótese que a implantação das estratégias bioclimáticas passivas indicadas na carta de Givoni (1992), conforme Goulart *et al.* (1994), e na NBR 15220-3/03 em edificações residenciais unifamiliares localizadas em Joinville/SC maximizam o desempenho térmico das mesmas.

1.3 Objetivo

Este estudo tem como objetivo primário determinar quais são as estratégias bioclimáticas de condicionamento térmico passivo para o clima de Joinville, através do desenvolvimento da carta bioclimática da localidade e da apreciação das recomendações da NBR 15220-3/03. Em seguida, para confirmar a hipótese e explicar o comportamento das táticas passivas identificadas para localidade, essas serão examinadas através da avaliação do desempenho térmico. Esta análise será elaborada através do uso da simulação computacional, com a modelagem das diferentes condicionantes construtivas indicadas pelas estratégias em uma planta habitacional definida.

1.4 Justificativa

A interferência negativa do clima nas edificações é percebida pelo ser humano tanto por questões de bem-estar quanto pelos danos causados às mesmas por fenômenos naturais. Para minimizá-los é preciso conhecer a climatologia de cada região para então aplicar as soluções mais adequadas.

1.4.1 Justificativa ambiental

Henry Kendall, Prêmio Nobel de Física, afirmou: “os seres humanos e o mundo natural estão numa rota de colisão” (*apud* CAVALCANTI, 2001). A preocupação com um desenvolvimento sustentável é justificada. É necessário combinar o uso de recursos naturais com o progresso econômico, “há por tanto uma enorme lacuna a ser preenchida, uma vez que não se pode permitir que a atividade econômica prossiga em sua rota de colisão com a natureza” (CAVALCANTI, 2001).

A construção civil é uma das atividades humanas de maior impacto ambiental em todo seu ciclo da vida. Tendo que o consumo de energia elétrica nas edificações representam 45% do consumo nacional (ELETROBRAS, 2006), o seu uso deve ser mais bem aproveitado para o conforto do ser humano. Prova disso é o fato do consumo da energia voltado ao uso de condicionadores de ar ter aumentado em 3% de 1987 a 1999, o que se deve em parte às condições inadequadas de desempenho térmico das moradias (PEÑA *et al.*, 2008). Também é relevante a constatação inserida no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2013) que o setor residencial consome uma porcentagem maior de energia elétrica que os setores comercial, público e agropecuário juntos. Edwards (2008) afirma que se pode diminuir o consumo de energia através do aumento dos níveis de conforto pela alteração do microclima. Ressaltam também esta afirmação Ghisi, Gosch e Lamberts (2007), quando afirmam que a melhoria do desempenho térmico das habitações aliado à eficiência dos equipamentos de ar-condicionado pode amenizar o crescimento do consumo de energia elétrica.

Com o desenvolvimento da comunicação, houve um maior intercâmbio de ideias e tecnologias entre culturas diferentes. Observa-se na cidade de Joinville, como em outras cidades brasileiras, uma linguagem arquitetônica com forte influência das culturas europeias e norte-americanas. Olgyay (2006) ressalta que é preciso compreender que a implantação generalizada das tipologias construtivas ocidentais deve realizar-se com maior precaução, uma vez que essas propostas arquitetônicas são uma resposta a climas frios.

Segundo Olgyay (2006) “o processo lógico seria trabalhar com as forças da natureza e não contra elas, aproveitando suas potencialidades para criar condições de vida adequadas”.

1.4.2 Justificativa social

É certo que “o desconforto térmico interfere na performance, prejudica a concentração e ocasiona mal-estar nos sujeitos” (FERREIRA, 2000). A existência ou não de um nível de conforto térmico em um ambiente interfere no desempenho das tarefas humanas e na saúde dos usuários. Algumas pesquisas foram desenvolvidas sobre o assunto e mostram a importância de um ambiente termicamente confortável.

O estudo de Nogueira, Durante e Nogueira (2005) sobre a relação do conforto térmico e da motivação dos estudantes, realizada na cidade de Cuiabá, mostra baixo interesse no aprendizado nos horários de sensação de calor e muito calor. Em suas considerações, os autores colocam que se fazem necessárias intervenções nos edifícios para um melhor

rendimento e aprendizado e que estas devem ser feitas de acordo com as variáveis climáticas locais.

Hackenberg (2000) expõem que o ser humano sente-se em desconforto térmico quando o ambiente não permite que seu sistema termorregulador realize as trocas de calor, mantendo a temperatura do corpo. Sua pesquisa mostra que a sensação de conforto térmico do homem está fortemente relacionada com as condições climáticas exteriores. Como exemplo cita um indivíduo que, em um dia quente de verão, está com roupas leves e tem sensação de frio ao entrar em uma edificação com sistema de ar condicionado central. Sendo assim, destaca a importância da adequação da temperatura dos ambientes, principalmente os climatizados artificialmente, para cada região.

Além disso, a implementação de residências de baixo custo através de programas habitacionais não levam em conta as condições climáticas, sendo utilizadas características construtivas semelhantes em regiões distintas do país. Considerando que estas edificações são destinadas a pessoas sem acesso a aparelhos de condicionamento térmico, é certo que muitas vezes não atendem à necessidade do usuário (KRÜGER e GIVONI, 2004). Esta situação não ocorre apenas no Brasil, Nguyen (2012) cita que são baixos os investimentos em habitações populares em países de terceiro mundo e que o bem-estar no ambiente construído não é assegurado. Mas o autor acredita que, com a melhora na qualidade de vida da população, a questão do conforto será uma preocupação prioritária dos usuários.

1.4.3 Justificativa econômica

O Brasil tem cerca de um terço da população vivendo com renda familiar *per capita* de até meio salário mínimo. Sendo assim, verifica-se uma discrepância quando relacionados o valor dos imóveis com a média salarial das famílias brasileiras. Na composição financeira das famílias, o custo médio do aluguel representa 15% e quase 70% no caso de imóveis próprios (BRASIL, 2008).

O imóvel também é uma fonte de riqueza, um bem com alto valor agregado e, várias economias mundiais se baseiam neste mercado. Ao olhar por este aspecto, é certo que aquele que oferece maior satisfação a seus usuários tem melhor valor de mercado. Também se pode fazer uma avaliação de valores financeiros de uma edificação ao longo de um período de 50 anos e verifica-se que os custos operacionais são cinco vezes maiores que o de projeto e construção (EDWARDS, 2008).

Destaca-se também que a falta de projetos adaptados ao clima local deixou o homem cada vez mais dependente dos recursos artificiais para manter seu conforto térmico e bem-estar nos ambientes construídos. Nesse sentido, Olgyay (2006) nos chama atenção para a possibilidade de conseguir-se conforto com baixo custo de manutenção, reduzindo a necessidade de condicionamento mecânico através do aproveitamento dos recursos naturais.

1.4.4 Justificativa tecnológica

Segundo Edwards (2008), a sustentabilidade tem ocupado lugar de destaque na ciência, mostrando-se como modelo de um novo paradigma para equidade social. No caso de técnicas e tecnologias voltadas às questões ecológicas, estas já estão em estágio avançado. Falta que a indústria da construção civil, do projeto à obra, se baseie na sustentabilidade.

Cada elemento climático produz um impacto diferente. É importante que se perceba as necessidades biológicas e fisiológicas do homem para analisar qual a solução tecnológica é adequada para cada problema de conforto climático. Estas soluções deverão combinar-se de acordo com sua importância em cada unidade habitacional (OLGYAY, 2006).

Com os compromissos fixados pela Agenda 21, muitas pesquisas foram desenvolvidas relacionadas ao conforto térmico. Sendo assim, esse trabalho tem a intenção de analisar as técnicas mais apropriadas para o desempenho térmico das edificações em Joinville, de clima quente e úmido.

2 CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Esta revisão da literatura objetiva fundamentar e orientar a pesquisa. Sendo assim irá abordar os assuntos relacionados a esta investigação e discorrer sobre os estudos com enfoque aqui proposto.

2.1 Conforto térmico

De acordo com Fanger (1982), o conforto térmico de uma pessoa pode ser definido como condição mental ou sensação onde se expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente. Também pode ser entendido como balanço relacionado às trocas de calor do corpo humano com o ambiente.

É evidente que a sensação de conforto térmico varia de pessoa para pessoa, mas os parâmetros são baseados em pesquisas de laboratório e de campo. Estas investigações forneceram dados estatísticos para definir condições de conforto térmico para uma determinada porcentagem de ocupantes (ASHRAE, 2003).

A norma da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (ASHRAE, 2003) 55 indica que há seis fatores principais que definem o conforto térmico, que são:

- Taxa do metabolismo;
- Isolamento das roupas;
- Temperatura do ar;
- Temperatura radiante;
- Velocidade do ar (ventos);
- Umidade.

Apesar disso, a norma citada refere-se apenas a um estado estacionário de conforto, considerando atividades sedentárias, como as tipicamente exercidas em escritórios. No entanto, a mesma pode ser usada também para determinar as condições ambientais apropriadas para atividades moderadas. O método descrito pela norma para determinação da zona de conforto considera parâmetros para os fatores acima relacionados e o índice PMV/PPD (*Predicted Mean Vote/Percentage of Dissatisfied*) de Fanger (ver item 2.1.1).

Olgyay (2006) afirma que a magnitude da produção do calor humano oscila em limites muito amplos. Nos processos vitais do corpo humano, 20% da transformação de calor devem-se ao processamento dos alimentos. Os índices de calor do corpo, em média, variam de

aproximadamente 73 kcal/h em repouso a até 1.210 kcal/h ao realizar um esforço máximo. Para o citado autor, pode-se definir zona de conforto como “(...) a zona a qual não se produz um sentimento de incômodo”. Olgyay (2006) ressalta que a sensação de neutralidade com o ambiente é influenciada por vários aspectos, como o gênero e a idade.

A percepção de conforto térmico é subjetiva, como mostra a pesquisa realizada por Han, *et al.* (2007) em cidades de clima quente e úmido da China. No resultado do questionário feito sobre a sensação térmica de moradias percebe-se que 80% das pessoas entrevistadas tem uma sensação de neutralidade ou calor ameno. No caso de residências que possuem condicionadores de ar, aparecem alguns ocupantes com sensação de frio. Outro dado importante retirado do estudo foi que 60% dos ocupantes das residências com condicionadores de ar consideram confortável termicamente seu ambiente interno, enquanto apenas 20% dos ocupantes de moradias sem condicionadores de ar consideram o mesmo.

Comparado este estudo com outros realizados em diferentes países percebe-se que uma possível explicação para diferença entre os resultados, além das características geográficas e climáticas, está na semântica das escalas de sensação térmica. Moradores de cidades de clima quente costumam preferir sensação de frio ameno e moradores de cidades de clima frio tendem a selecionar o item calor ameno (HAN, *et al.*, 2007). Hackenberg (2000) corrobora esta informação citando que, no caso do Brasil, um indivíduo aclimatado às condições de calor das regiões norte e nordeste, sentirá desconforto por frio no clima do sul do país.

2.1.1 Estudos em conforto térmico

Há duas principais vertentes de estudo dos índices de conforto térmico: o modelo analítico e a abordagem adaptativa. Povl Ole Fanger apresentou em 1972 seus cálculos analíticos conhecidos como PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), realizados através de pesquisas em câmaras climatizadas, que é o conceito mais difundido no método baseado no balanço térmico. Esses índices são as bases para as normas internacionais, como ASHRAE 55 e ISO 7730.

O modelo PMV/PPD baseia-se nos mecanismos termorreguladores do corpo humano, correlaciona a sensação térmica em função da atividade e vestuário com quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade). A linha graduada utilizada para voto é uma escala sétima, que varia de -3 a +3, ou de muito frio a muito quente, sendo que 0 representa a neutralidade. Este modelo se mostrou adequado para

estudos em edifícios com condicionamento artificial, tanto em climas quentes quanto em clima frios (FANGER e TOFTUM, 2002).

A partir da revisão de seus estudos, Fanger e Toftum (2002) afirmam que a abordagem do PMV pode prever que qualquer temperatura de 10 °C a 35 °C define neutralidade, dependendo das variáveis aplicadas ao modelo, e ainda permite uma porcentagem de insatisfeitos (PPD). Pode ser aplicado com boa qualidade de aproximação às flutuações relativamente lentas dos parâmetros ambientais que ocorrem em ambientes internos (FANGER e TOFTUM, 2002).

A abordagem adaptativa foi proposta para edificações sem o uso de condicionadores de ar e trata-se de uma equação de regressão que relaciona a temperatura de neutralidade do ambiente interno com as temperaturas médias mensais externas, que podem ter um impacto indireto sobre o balanço térmico do corpo humano (FANGER e TOFTUM, 2002). Esta abordagem não considera os usuários como agentes passivos às condições térmicas oferecidas nos edifícios que ocupam, mas sim que esses operam ações que visam atingir melhora na sensação térmica pessoal (alteração de vestuário, manipulação de janelas e dispositivos de sombreamento, postura, etc.) (NICOL e HUMPHREYS, 2002).

Estudos realizados no Brasil mostram enfoques distintos sobre o tema. Andreasi, Lamberts e Cândido (2010) desenvolveram uma análise comparativa sobre a aceitabilidade térmica em ambientes naturalmente ventilados em contraponto com aqueles onde se utiliza condicionamento artificial. A pesquisa de campo foi realizada em três localidades de clima quente e úmido no Brasil: Corumbá, Coimbra e Campo Grande. Os métodos de Fanger e o Adaptativo foram aplicados no estudo. Os questionários foram aplicados nos meses de abril e novembro e os ocupantes deviam responder se aceitavam o ambiente térmico que estavam, depois de estarem aclimatizados e terem recebido informações sobre o propósito da investigação. Além do PMV/PPD e do voto de temperatura sensível (TSV), foram medidas as temperaturas e a velocidade do vento dos ambientes. No caso dos edifícios naturalmente ventilados, discrepâncias significativas foram constatadas entre o índice do PPD e as respostas dos voluntários. Os resultados também foram diferentes tratando-se do PMV e do TSV, ficando próximos apenas quando a temperatura média do ar ficou em 27 °C. Com isto concluíram que as duas metodologias utilizadas são parcialmente adequadas a serem aplicadas nestas regiões. Já os resultados da pesquisa em edificações artificialmente condicionadas mostraram coerência em relação aos indicadores dos usuários e os demais índices calculados.

Almeida (2010) desenvolveu sua pesquisa objetivando avaliar as condições de conforto de edifícios residenciais sobre o ponto de vista do conforto térmico. O autor entende

que o assunto abrange a um amplo espectro pela diversidade de tipologias, usos e arquitetura das construções. Ele considera relevante estudar a relação direta que as características construtivas tem com os níveis de conforto térmico do usuário, sem recorrer a equipamentos e sistemas mecânicos de climatização. A delimitação do seu trabalho estende-se ao patrimônio edificado de uso residencial em Portugal - estudos nas cidades de Lisboa, Porto e Bragança - e sua referência para a avaliação é a regulamentação local sobre o tema. Como estratégia, Almeida (2010) usa as duas abordagens para estimar o conforto térmico, a abordagem analítica e a adaptativa, e compara seus resultados. Para os métodos mencionados, o autor verifica o intervalo de conforto proposto e analisa os resultados obtidos em um ano de observações para cada uma das estações convencionadas pela norma portuguesa. De forma a perceber a distribuição percentual do desconforto diário, e identificar os momentos mais críticos, o pesquisador divide as horas diárias em quatro períodos. Também realiza a avaliação do número de graus acima e abaixo dos limites de conforto definidos pelo método adaptativo, estabelecendo assim dois indicadores de conforto: “(...) graus-hora de desconforto e sobreaquecimento ou sobrearrefecimento médios dos períodos de desconforto”. Como ferramenta de análise dos dados, Almeida (2010) utiliza a simulação computacional.

Com relação aos métodos de análise adotados, Almeida (2010) conclui que, de maneira geral, a abordagem adaptativa apresenta resultados mais favoráveis. Ele cita que o método analítico apresenta períodos de desconforto mais expresivos, para as estações de arrefecimento, que os demais. Também expõem que a inexistência da “oportunidade adaptativa” torna a abordagem de voto médio predito mais sensível às oscilações das características interiores dos edifícios. “Por outro lado, os dois métodos adaptativos utilizados apresentam resultados com algumas discrepâncias entre si, variando estas com a alteração das fichas climáticas utilizadas”.

Todas as investigações aqui apontadas tem o foco no usuário e nas suas considerações a respeito do ambiente térmico em que está. Estas são referências importantes para a compreensão da gama de temperatura em que o ser humano sente bem-estar. Sendo assim, este é o ponto de partida para o entendimento de como o desempenho térmico das edificações pode influenciar na percepção de conforto do usuário. Então, de forma a conhecer melhor a relação dos edifícios com as sensações humanas, é interessante o aprofundamento na arquitetura bioclimática.

2.2 Arquitetura bioclimática

Corbella e Yannas (2003) explicam que

O objetivo da Arquitetura Bioclimática é prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição. (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Os citados autores ressaltam alguns dos princípios da bioclimatologia:

- Controle de ganhos solares;
- Dissipação de energia térmica do interior do edifício;
- Remoção da umidade em excesso e promoção da movimentação do ar;
- Uso da iluminação natural;
- Controle de ruído.

Minimizar os ganhos de energia solar pelas janelas e coberturas e alocar isolantes térmicos nas superfícies mais ensolaradas são estratégias para o controle dos ganhos de calor por radiação. Outras táticas bioclimáticas são combinar a ventilação noturna com inércia térmica e transferir o calor para zonas com menor temperatura que o ambiente habitado (depósitos, garagens, subsolos, etc.). A movimentação do ar é importante para remover o excesso de umidade e aumentar a sensação de conforto térmico (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Estudioso da relação entre clima e arquitetura, Givoni (1969) afirma que as decisões a respeito do projeto e a escolha dos materiais afetam na resposta da edificação à exposição ao clima. A quantidade de radiação absorvida e que penetra no edifício, a temperatura do ar e das superfícies, a velocidade do ar e a pressão de vapor são variáveis que configuram esta relação.

No caso da radiação solar, duas características de projeto que podem alterar a troca de calor do objeto edificado com o meio: a cor das paredes externas e o tipo de janelas utilizadas. A absorção da radiação solar em superfícies caiadas gira em torno de 15%, enquanto nas pintadas de preto pode chegar a 90%. No caso das aberturas, o formato, o tipo de vidro e a área do mesmo, regulam a quantidade de insolação que penetra nos cômodos (GIVONI, 1969).

Givoni (1969) afirma que a relação das temperaturas de ar e de superfícies internas e externas depende dos materiais empregados na construção, da cor das paredes externas, do tamanho e sombreamentos das aberturas e da ventilação. O citado autor esclarece que com

paredes espessas pintadas de cores claras e pequenas aberturas sombreadas é possível reduzir a média da temperatura interna em 10%, e a sua máxima em até 50%, comparada à média externa de temperatura. A ventilação noturna também pode incrementar um ligeiro aumento na amplitude térmica interna. A respeito da ventilação cruzada, o autor alega que, quando esta é eficiente, a velocidade do ar interno pode alcançar 60% da velocidade dos ventos. Com relação à pressão de vapor (ou umidade relativa) em edifícios ventilados naturalmente, é certo que há a mesma porção internamente quanto no ar externo.

Em seu livro “Arquitectura y clima”, Olgyay (2006) reflete sobre as forças da natureza e sua influência na Arquitetura, destaca o aproveitamento de seus recursos para o favorecimento do conforto humano, e expõe que “o primeiro passo para adequação ambiental consiste em uma análise dos elementos climáticos do lugar”. O autor expõe quais os elementos que se relacionam com as sensações humanas, como o movimento do ar, ventos, e os efeitos da radiação solar.

Outro fator relevante para o desempenho das edificações é a adequação dos sistemas e materiais construtivos em resposta à agressividade do clima. É preciso lembrar que as fachadas estão sujeitas às interpéres e esta é uma das principais fontes de umidade dos edifícios. “Com a presença do vento, as fachadas passam a se expor em diferentes níveis de umidade, diretamente influenciados pela direção e intensidade do vento” (MELO, CARASEK, 2011).

Hertz (2003), envolvido em pesquisa e construção em climas quentes e úmidos, constata que é preciso avaliar os materiais mais adequados para cada tipo de clima. Hertz relaciona os elementos climáticos com o comportamento térmico das edificações e conclui: “(...) a arquitetura que leve em conta os aspectos climáticos, é tanto uma ciência como uma arte”.

Além dos ganhos em conforto humano, a associação de ecologia e tecnologia cria uma nova geração de edifícios capazes de diminuir os impactos ambientais (EDWARDS, 2008). O autor enfatiza que o homem já conhece as leis da natureza - através do conhecimento da evolução das espécies, da interdependência de seus habitats e de seus genomas - e mesmo assim raramente aplica estes conceitos aos projetos arquitetônicos. O projeto orgânico fica em segundo plano ao projeto em série, industrializado.

Quatro diretrizes podem ser abordadas na arquitetura a partir da natureza. Aprender com a natureza é uma delas, observando a interação dos recursos que são consumidos e dos resíduos que são produzidos. É equiparar o edifício com uma espécie e a cidade com um habitat. Também se pode lançar mão de usar modelos naturais para criar com extrema

elegância e conceber projetos que interajam com o entorno. As estruturas, composições e materiais da natureza mostram-se resistentes e sustentáveis. De maneira a trazer conforto estético e psicológico ao homem e purificar o ar, outra diretriz é colocada: explicitar a natureza. Trazê-la para o entorno ou para o interior da edificação, em forma de pátios internos, estufas e jardins. Por fim, a quarta diretriz é tomar a natureza como quantificador ecológico. Esta prática é adotada pelos sistemas de análise e certificação ambiental, como forma de valorar os recursos utilizados em uma edificação (EDWARDS, 2008).

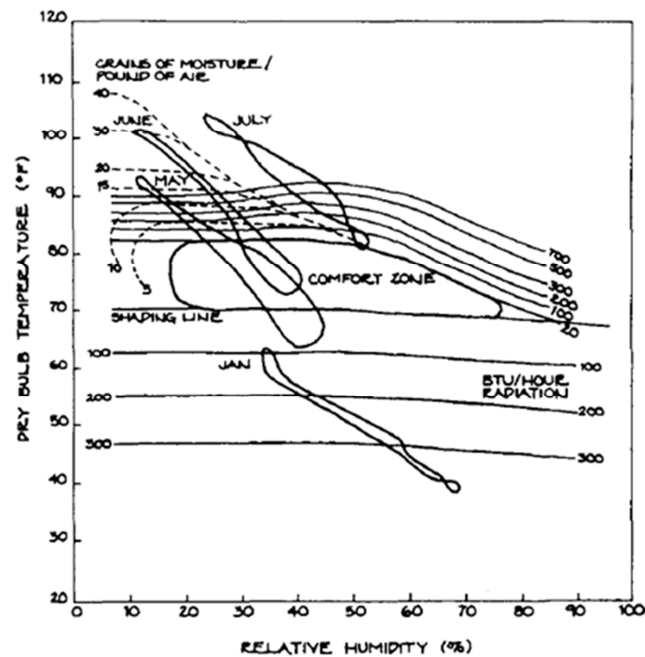
De forma a compreender as interferências do clima de cada região e as possíveis ações para um melhor desempenho dos ambientes construídos, pesquisadores desenvolveram cartas bioclimáticas. Neste diagrama estão inseridas variáveis de temperatura e umidade relativa do ar e definidas então as estratégias (PEÑA et al., 2008).

Segundo Peña, *et al.* (2008) “(...) de forma geral, estudos da disponibilidade das variáveis climáticas requeridas no local são pouco realizados”. Em alguns casos pesquisados conclui-se que, nos momentos em que estas variáveis eram requeridas, a disponibilidade era menor que o desejado. Sendo assim, afirmam que, além da consideração de temperatura e umidade, a verificação da presença da radiação e da ventilação é fundamental para definição de estratégias para manutenção do conforto.

2.2.1 Carta bioclimática

As primeiras cartas, ou diagramas, bioclimáticas foram desenvolvidas por Olgyay (1963, *apud* GIVONI, 1992), que relacionava a umidade relativa e a temperatura. Nela são definidas faixas de conforto humano para inverno e verão, a partir da inclusão das condições de temperatura e umidade local de cada mês. O diagrama demonstra qual a ação ideal para restaurar o conforto térmico em cada período numa determinada localidade (figura 1). Esta carta baseia-se na compilação dos dados climáticos de um local, incluindo temperatura, umidade do ar, ventos e radiação. Em seguida, estas informações são tabuladas em numa base anual que mostra a distribuição dos elementos climáticos para o período. Plotados os dados de temperatura e umidade do ar na carta é possível verificar os fatores de projetos adequados ao local, como o forma e orientação do edifício e tamanho e sombreamento das aberturas (GIVONI, 1969; 1992).

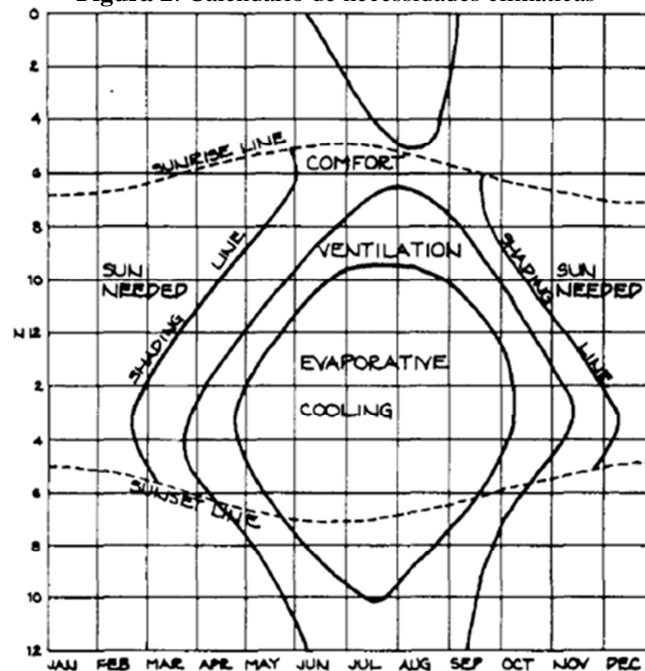
Figura 1: Carta bioclimática de Olgyay para Phoenix, Arizona



Fonte: Givoni (1992).

Olgyay também desenvolveu um Calendário de Necessidades Climáticas, que mostra as soluções bioclimáticas para os períodos do dia em cada mês do ano (figura 2). Um importante detalhe é que tanto a carta quanto o calendário foram elaborados considerando as condições externas, que podem ser muito diferentes das temperaturas de ambientes internos não climatizados, especialmente em regiões áridas e de clima quente (GIVONI, 1992).

Figura 2: Calendário de necessidades climáticas



Fonte: Givoni (1992).

A partir dessas considerações, Givoni desenvolveu sua carta bioclimática, para resolver os problemas verificados na carta de Olgyay. Nela, o pesquisador baseia-se nas temperaturas internas de edifícios não climatizados, que foram obtidas por cálculos ou através da experiência de seus habitantes (GIVONI, 1992).

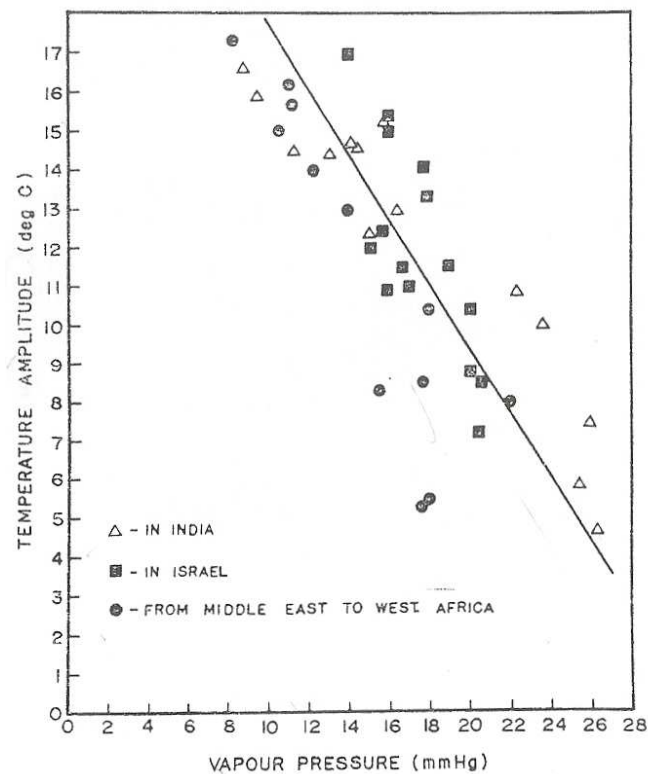
No método desenvolvido por Givoni (1969), a análise do clima foi realizada com base nos períodos extremos de estresse psicológico diurno, que incluiu calor intenso de verão e frio excessivo de inverno. Segundo o autor, “um padrão típico de temperaturas diurnas externas, pressão de vapor e velocidade do vento é compilado e resumido para os meses mais quentes e mais frios, e se necessário para outros períodos de condições de estresse, observando assim as características que requerem atenção específica”.

Inicialmente, realiza-se um exame das condições internas de conforto comparando a eficiência da ventilação com a redução da temperatura interna comparada à externa. O critério de avaliação está relacionado com o estresse térmico do ocupantes, indicado pela redução de peso por evaporação (suor), sendo que o conforto térmico corresponde a uma taxa de perda de 40 a 60 g/h. “A temperatura média radiante e a temperatura do ar são assumidas como próximas o suficiente para o efeito adicional de troca de calor por radiação ser negligenciada, e os materiais estruturais, portanto, devem ser escolhidos para justificar esta suposição”. Também deve ser considerada uma velocidade de ar interno de 30% da velocidade dos ventos, sendo que 1,5 m/s é o limite para que a movimentação do ar não seja considerada incômoda (GIVONI, 1969).

Quando os resultados da avaliação indicam que o incremento da ventilação não fornece sensação de conforto térmico, ou nos casos onde a movimentação do ar é indesejável durante o dia, outras intervenções tornam-se necessárias. A redução da temperatura interna inclui a especificação dos materiais de construção, mas isso acontece quando se mantem janelas fechadas e assume-se que a pressão de vapor do ar se eleve 2 mmHg do externo (GIVONI, 1969).

Givoni (1969) percebeu que o potencial de redução da temperatura do ar interno aumenta conforme a amplitude da temperatura externa, mas que este incremento é inversamente proporcional à pressão de vapor ambiente. Assim o autor admite que “(...) o limite superior da temperatura externa no qual o conforto interior pode ser alcançado é gerado por uma queda na pressão de vapor” (figura 3).

Figura 3: Relação entre a média mensal de pressão de vapor e a amplitude de temperatura do ar externo em diferentes regiões



Fonte: Givoni (1969).

Esta importante interdependência foi verificada em estudos realizados em diferentes regiões do globo terrestre e aproxima-se da relação mostrada na equação 1, sendo então considerada uma característica global (GIVONI, 1969).

$$\Delta t = 26 - 0,83 \, v.p.$$

[1]

Onde:

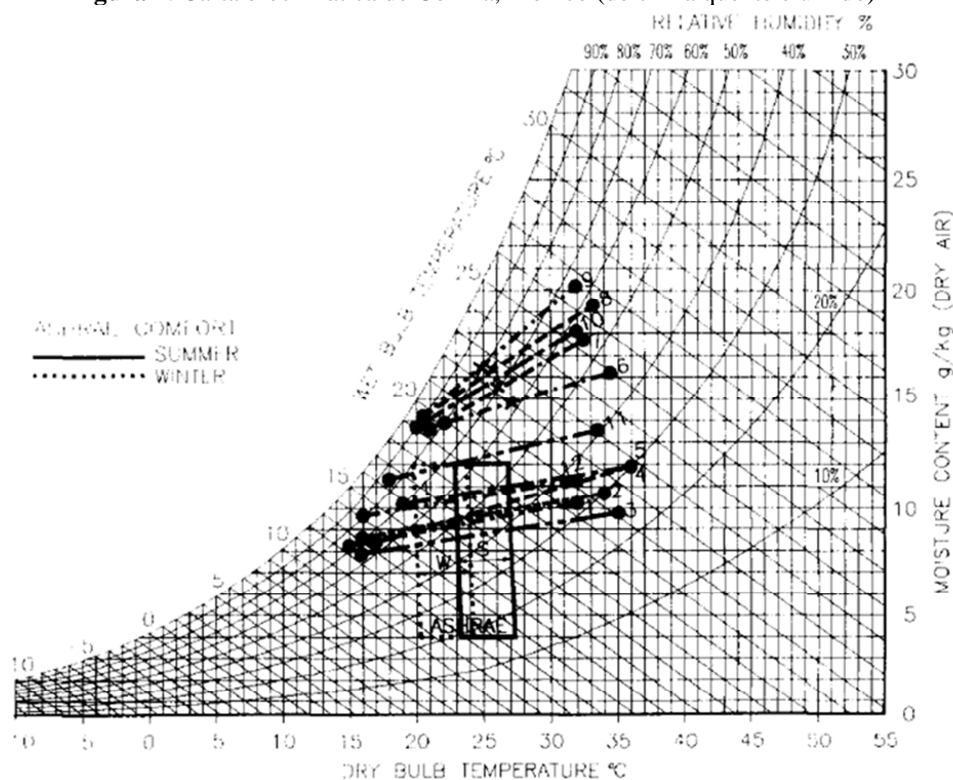
Δt é a diferença de temperatura, em °C;

$v.p.$ e a pressão de vapor, em mm HG

De forma a transformar estas pesquisas em um uso prático, Givoni (1969) plotou em um gráfico psicrométrico as relações de adequação de ventilação, redução de temperatura do ar, resfriamento evaporativo e condicionamento artificial com as condições ambientais, amplitude térmica e umidade relativa. O autor denominou este diagrama de “Carta Bioclimática do Edifício”. As partes da carta mostram as estratégias para aclimação dos ocupantes e a zona de conforto térmico.

Com o tempo e o desenvolvimento de outras pesquisas o diagrama foi ganhando mais base científica para demarcação das condições climáticas e aplicação de diferentes estratégias de conforto. Os limites da zona de conforto e das estratégias de projeto para assegurar conforto no ambiente interno propostas por Givoni (1992) são baseadas nas expectativas de temperatura para edificações sem condicionamento de ar e nos locais onde estas são construídas. Givoni, diferentemente de Olgyay, usa o diagrama psicrométrico para sua carta bioclimática (figura 4), que se assemelha ao da ASHRAE. Outro aspecto diferente é que diagramas parciais sugerem separadamente limites climáticos para aplicabilidade de diferentes estratégias de aquecimento e resfriamento passivo para conforto térmico interno das edificações. As estratégias incluídas na carta de Givoni são ventilação diurna, massa elevada com ou sem ventilação noturna, resfriamento evaporativo direto e indireto (GIVONI, 1992).

Figura 4: Carta bioclimática de Colima, México (de clima quente e úmido)



Fonte: Givoni (1992)

O resfriamento evaporativo utiliza a energia consumida no processo de evaporação da água de duas diferentes maneiras. De forma direta pode ser realizado com o resfriamento do ar externo que depois é introduzido no ambiente interno, com o uso de sistemas mecânicos ou de modo passivo como a torre de resfriamento, ideal para ser aplicado em clima quente e seco. A forma indireta, com o uso de lagoas de cobertura, atua pela condução de calor para água por radiação e convecção (GIVONI, 1992).

No caso das zonas de ventilação da carta bioclimática de Givoni (1992), para velocidade de vento de 2 m/s, a temperatura aceitável pode ser estendida para até 32°C.

2.2.1.1 Carta bioclimática para o Brasil

Em um estudo realizado na Universidade Federal de Santa Catarina com intenção de encontrar um método a ser adotado para realidade brasileira, Goulart, *et al.* (1994) pesquisaram como conciliar as variáveis que afetam o conforto humano e o desempenho do ambiente construído. Para alcançar este objetivo foram selecionados diagramas representativos dos sistemas bioclimáticos e a estes foi aplicada a equação de Fanger. Os trabalhos dos seguintes autores foram objeto do estudo: (a) Olgyay Koenigsberger, (b) Givoni e Milne, (c) Givoni (1992), (d) Gonzalez, (e) Szokolay, (f) Watson & Labs, (g) sistema adotado pela ASHRAE.

A verificação da equação de Fanger foi realizada utilizando-se os limites de cada diagrama para velocidade do vento e atividade. O índice de vestimenta foi ajustado até obter-se concordância entre os sistemas bioclimáticos e os índices de PMV e PPD, que foi possível até o limite máximo de temperatura de 28°C (GOULART, *et al.*, 1994).

Conforme os autores citados, considerada a carta de Givoni (1992), “os resultados mostram que com temperaturas maiores que 29°C, ao se reduzir o índice de vestimenta e aumentar a velocidade do vento consegue-se atingir valores compatíveis com FANGER”. Concluíram então na adoção da carta de Givoni (1992) e suas estratégias de projeto. Este resultado deve-se ao fato de Givoni (1992) ter suas pesquisas voltadas à países de clima quente e em desenvolvimento e também baseado na aclimação de pessoas ao clima quente e úmido. Além disso, a velocidade do ar pode ser aumentada em temperaturas mais elevadas com ganho de conforto sem grande aumento de consumo de energia, pois a temperatura máxima para conforto está próxima da externa (GOULART, *et al.*, 1994).

Neste estudo foram colocadas algumas alterações para as estratégias de projetos segundo Givoni (1992) para países em desenvolvimento. “A zona de ventilação foi estendida até a linha de umidade relativa de 100%, baseado na carta de Gonzalez (1986, *apud* GOULART, *et al.*, 1994), a qual foi desenvolvida para climas quentes e úmidos, mais próximo da realidade da região em estudo”. Foi estabelecido também o limite de 10,6°C da zona de resfriamento evaporativo para umidades mais baixas, pela linha de TBU (temperatura de bulbo úmido). Este mesmo limite também é utilizado para a zona de umidificação, que não

foi definida por Givoni (1992). Além disso, foram implantadas ao diagrama as seguintes zonas:

- Zona de aquecimento artificial, até o limite de 10,5°C de temperatura de bulbo seco (TBS);
- Zona de aquecimento solar passivo, delimitada entre os valores de 10,5°C e 14,0°C de TBS;
- Zona de massa térmica, entre 14,0°C e 20,0°C de TBS fora da zona de conforto;
- Zona de ar-condicionado, onde se consegue conforto apenas através da refrigeração artificial.

Todas estas inserções baseiam-se na carta de Gonzalez (1986). Com estas adequações os pesquisadores desenharam então a proposta de zona de conforto térmico para o Brasil, conforme consta no Anexo 3.

2.2.2 Estratégias bioclimáticas para clima quente e úmido

É certo que diferentes regiões climáticas requerem diferentes parâmetros para avaliar o conforto. A maior parte do território brasileiro é classificada como tendo clima quente e úmido. Nestas regiões a solução mais efetiva para conforto térmico, sem o uso de condicionamentos mecânicos, é a combinação de ventilação natural e proteção solar (CÂNDIDO, *et al.*, 2010).

Além disso, a maior parte dos territórios classificados com este clima pertence a países em desenvolvimento e onde a maioria da população não tem recursos para adquirir aparelhos condicionadores de ar (GIVONI, 1992a). Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) corroboram com a afirmação de Givoni (1992a) quando, em sua pesquisa sobre usos finais de eletricidade, mostram baixa representatividade do ar condicionado no consumo das famílias brasileiras. No país a taxa de posse de aparelhos condicionadores de ar por residência varia de 0,03 a 0,11. Em uma relação com as zonas bioclimáticas, a porcentagem de gasto energético com o condicionamento térmico do total consumido na zona 5 (que engloba a cidade de Joinville) é de 2% no inverno e entre 2% e 18% no verão.

Considerando as regiões de clima quente e seco ou quente e úmido, em ambas o verão é a estação mais relevante a ser tratada quanto ao conforto térmico das edificações. Mas é certo que as causas físicas e psicológicas do estresse térmico em cada um destes tipos de climas são distintas. Por tanto, os detalhes de projeto a serem aplicados a eles são diferentes (Givoni, 1992a).

Segundo Miller *apud* Givoni (1969), dois tipos de climas podem ser chamados de quente e úmido sob o ponto de vista de projeto de arquitetura: o equatorial marinho e o tropical marinho.

O clima equatorial é característico de uma extensa área do continente africano e sul-americano, onde as temperaturas são altas e há um padrão diurno anual das mesmas. A média anual de temperatura do ar é de 27°C e a amplitude média mensal gira em torno de 1 a 3°C. Por outro lado, a temperatura diária pode variar em torno de 8°C e as máximas chegarem a 38°C. Neste clima, durante a maior parte do ano, a taxa de umidade é alta e a incidência de chuva é regular. As temperaturas do ar caem pouco com a ocorrência de chuva (GIVONI, 1969; 1992a).

No clima tropical marinho o vapor d'água contido na atmosfera é bastante elevado e é frequente a umidade relativa num patamar de 90% ou mais. Outro fator relevante é a larga variação da intensidade da radiação solar direta e difusa, por conta da nebulosidade. Quando a vegetação é densa e o solo está úmido, a reflexão da radiação é menor, amenizando a sensação de calor. Os altos índices de temperatura e umidade encorajam a proliferação de fungos e insetos, o que cria a necessidade de precauções nas edificações com relação a estas pragas (GIVONI, 1969).

As estratégias necessárias para alcançar o conforto térmico nas regiões de clima quente e úmido são muito similares ao longo do ano, por conta da baixa variação climática ao longo das estações. Por conta da predominância de altas taxas de umidade relativa e a fim de evitar o desconforto por calor, deve-se implementar a ventilação, afim de ampliar a evaporação do suor. A ventilação constante é um requerimento básico e afeta todos os aspectos do projeto do edifício, como a orientação das fachadas e janelas e o desenho das circunvizinhanças (GIVONI, 1969).

Givoni (1969) expressa que o fato de ser comum nessas áreas a ocorrência de chuvas torrenciais alternadas com intensa radiação solar e permanência de umidade elevada faz com que o uso de proteção para intemperes e o sombreamento sejam requeridos, sem o prejuízo da ventilação natural. Uma avaliação importante deve ser feita ao projetar a edificação no caso da necessidade de manter as janelas abertas noite e dia. Com a pequena amplitude térmica diária, é possível ocorrer temperaturas internas superiores às externas, principalmente à noite com a baixa incidência de ventos, por conta das temperaturas das superfícies. O autor afirma que a única solução é o condicionamento mecânico quando a redução da temperatura interna não é possível com o uso de nenhuma das outras estratégias.

A mais importante causa de desconforto em climas quentes e úmidos é sensação de pele molhada, ou seja, não é a temperatura em si, mas a sensação térmica gerada pelo suor. Para Givoni (1969), “a ventilação deve garantir uma taxa de evaporação do suor suficiente não só para manter o equilíbrio térmico, mas para permitir a evaporação do suor quando emerge dos poros, sem acumular na pele”.

Estudos mais aprofundados de Givoni (1992) indicam que pessoas que vivem em países em desenvolvimento de clima quente e úmido aceitam melhor temperaturas mais elevadas e, por tanto, os limites superiores de conforto da carta bioclimática devem ser ampliados. Assim como, em localidades com elevados índices de umidade relativa do ar, há uma forte interação entre temperatura e umidade. O autor sugere que, em climas quentes e em condições de ar parado, as faixas de temperaturas aceitáveis para inverno são de 18°C a 25°C e de 20°C a 28°C no verão. Mas, no caso apontado acima os limites de temperatura aceitável caem progressivamente.

Hertz (2003) confirma as afirmações citadas sobre o clima quente e úmido. O autor define como características deste clima elevado índice de umidade relativa e divisão em duas estações, uma mais e outra menos chuvosa. A diferenciação entre a estação seca e a chuvosa é mais intensa quanto maior for a distância do equador. Em localidades com este clima, quando a força do vento é grande podem ocorrer aguaceiros quase horizontais. A luz do sol é bastante intensa, mas às vezes é reduzida pela presença das nuvens. De forma geral, os ventos nestas regiões tem uma velocidade limitada, mas podem acontecer tormentas. O resultado da combinação destes fatores é um grande desconforto térmico, pior que em zonas secas, onde as temperaturas são mais elevadas.

Segundo Hertz (2003), característica tradicional de regiões de clima quente e úmido é a influência da ventilação. Os projetos visam aproveitar a brisa, com o uso de balcões, tetos altos e janelas grandes e se utilizam de materiais de pouca inércia térmica. O autor indica que “em função do alto teor de umidade deste clima, a ventilação merece atenção especial. Edifícios individuais, elevados e compridos, são os mais indicados”. O afastamento maior entre as edificações e o uso de pilotis são adequados neste caso. O ganho de calor pela cobertura deve ser controlado, principalmente em edificações baixas, devido ao alto índice de radiação. As aberturas carecem de sombreamento, para minimizar a entrada de calor e ofuscamento pela luz do sol. O uso de telhado duplo e largos beirais são aconselhados. A utilização de *brises* necessita ser bem planejada, para não impactar na iluminação e ventilação natural. Hertz (2003) afirma que uma preocupação com a construção é evitar a penetração da

umidade na envoltória, pois as altas temperaturas e a umidade elevada dificultam uma boa ventilação durante as chuvas.

Goulart (2004) afirma que o uso de sombreamento adequado das áreas envidraçadas tem mais efeito que diminuição das janelas. No caso de sistemas de coberturas com madeiramento e telhas, a autora ressalta que essa deve ser associada ao isolamento ou barreira de radiação para alcançar melhor comportamento térmico. O mesmo vale para sistemas com laje de concreto. Segundo Goulart (2004) “o uso de material isolante causa um decréscimo nas horas de desconforto por calor para as zonas locadas no pavimento térreo, como para melhora do desempenho nas zonas localizadas no pavimento superior”.

A relação da massa da envoltória e da proporção das aberturas não influencia significativamente nas condições internas do edifício. O sombreamento é um item mais relevante no projeto do que janelas num fator de 20% da área do cômodo. Grandes reduções nos picos de temperatura são alcançados quando se utiliza a ventilação noturna. Esta redução é maior quando relacionada com as trocas de calor em paredes de alta inércia térmica. Sendo assim, os parâmetros que mais contribuem no desempenho térmico, em clima quente e úmido, são a ventilação noturna e o sombreamento (GOULART, 2004).

Em uma investigação em Danang, Vietnã, sobre desempenho térmico de habitações de baixo custo e naturalmente ventiladas, verificou-se que em 39% dos períodos do ano há necessidade de aprovisionar conforto. A metodologia utilizada no estudo foi simulação e medição, e foram avaliadas diferentes estratégias no modelo calibrado, como diferentes sistemas de ventilação e diferentes orientações de fachada. Também foi testado o ganho de radiação solar por áreas envidraçadas distintas. Realizada a aplicação de isolamento nas paredes, verificaram que se pode reduzir parcialmente o ganho de calor no período diurno, mas restringe sua perda para resfriamento durante a noite. Concluíram que a ventilação noturna no verão melhorou o conforto térmico em 4,15% do período do ano, enquanto a ventilação natural o dia todo nas estações intermediárias alcançou um índice de 6,80%. A orientação, a alta reflexividade das superfícies do edifício, as proteções solares, a baixa transmitância térmica e área das aberturas foram identificadas como soluções aplicáveis e eficazes, embora com baixo desempenho. Já o isolamento térmico e a alta massa térmica não tiveram contribuição positiva sobre o ambiente térmico (NGUYEN e REITER, 2012).

2.2.2.1 Ventilação

A ventilação natural é um dos fatores que podem ser usados para melhorar o conforto em um ambiente construído. Ela pode amenizar a temperatura, além de fazer a renovação do ar interno, diminuindo assim o risco de transmissão infecciosa.

Segundo Cândido, *et al.* (2010) “a percepção humana de ventilação depende da velocidade do ar, das variações de velocidade do ar, da temperatura do ar e de fatores pessoais como sensação térmica absoluta, isolamento das roupas e o nível de atividade física (taxas metabólicas)”. Os autores relatam que a existência e a velocidade do movimento do ar influenciam no conforto térmico, pois agem na perda de calor do corpo humano, tanto por convecção quanto por evaporação. Com alta velocidade do ar remove-se o calor sensível e o calor latente do corpo, restaurando a temperatura corporal a um nível agradável.

No questionário aplicado em Maceió, por Cândido, *et al.* (2010), em edificações com uso de ventilação natural, obteve-se uma porcentagem de respondentes com sensação de neutralidade térmica na estação fria de 60% e de pouco menos de 40% na estação quente. De maneira geral a pesquisa demonstrou 90% de aceitabilidade com o conforto gerado nestes ambientes. Em suas conclusões os autores indicam que, para climas quentes e úmidos, uma ventilação com maior velocidade é desejável para a melhora do conforto térmico, por compensar a alta temperatura e umidade do ar.

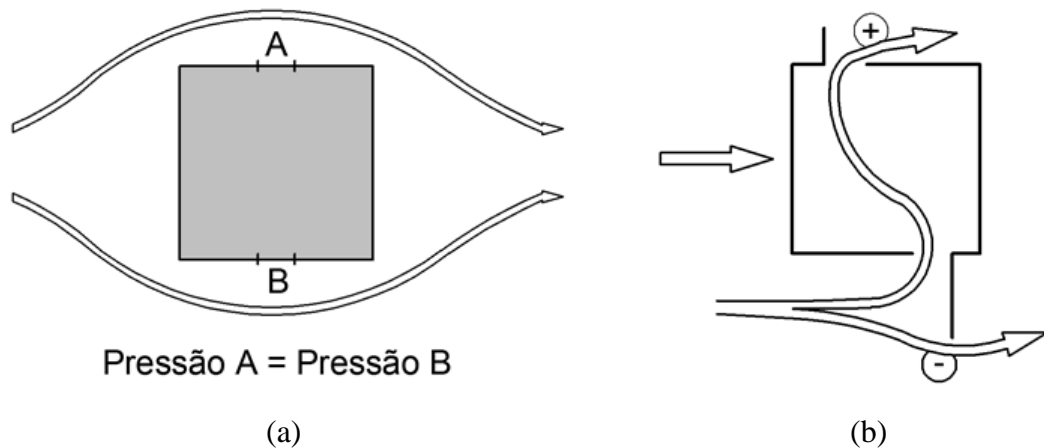
A ventilação direta, através de janelas por exemplo, é um dos meios de trazer conforto ao homem dentro das edificações. Outra estratégia é trabalhar com a ventilação indireta, ventilando o edifício apenas à noite e arrefecendo a massa interior que irá reduzir o ganho térmico durante o dia (GIVONI, 1992).

Quando a amplitude térmica é baixa e a umidade relativa é alta, a ventilação da edificação pode prover uma pequena baixa nas temperaturas internas. No caso de condições de ar parado e sensação de muito calor, o uso de ventilação diurna é interessante quando o conforto interior pode ser experimentado pela temperatura externa. Para escolha de um local para um novo loteamento o fator mais determinante com relação ao estresse térmico deve ser a velocidade do vento no nível da rua. A definição da orientação e da largura das ruas afeta o potencial de ventilação natural dos edifícios (GIVONI, 1969; 1992a).

Para ventilação do interior de uma edificação pode-se utilizar o vento externo (natural) ou, quando este não existir ou for fraco, usar de meios mecânicos para movimentar o ar. Sendo assim, é importante conhecer a direção dos ventos predominantes para melhor posicionar as aberturas e conseguir uma ventilação cruzada. Além disso, deve-se considerar

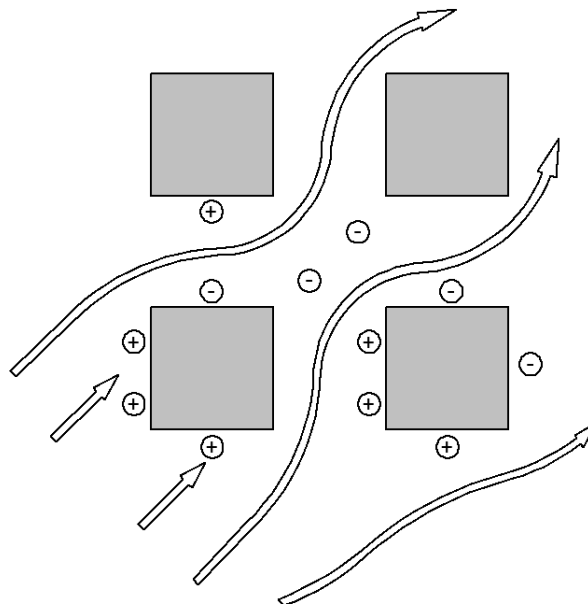
que a pressão influi na ventilação e se, apesar de haver vento, não existir diferença de pressão entre duas janelas não haverá corrente cruzada entre elas. Nestes casos o uso de obstáculos pode prover a ventilação (figura 5). A figura 6 mostra como posicionar as aberturas quanto a direção do vento não é perpendicular à edificação (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Figura 5: Pressões do vento



Fonte: Corbella e Yannas (2003)

Figura 6: (a) Exemplo de caso com vento e sem ventilação cruzada.
(b) Obstáculos que criam correntes cruzadas.



Fonte: Corbella e Yannas (2003)

Sabe-se também que a diferença de temperatura produz fluxo de calor. Assim, em períodos de calmaria pode-se gerar movimento do ar com o uso de aberturas superiores, que eliminam o ar quente, e inferiores, que trazem ar frio de fora. A tabela 1 apresenta resultados de simulações para cidade do Rio de Janeiro, que combinam o uso de ventilação natural,

quando o ambiente está desocupado, e ar condicionado, quando ocupado. O estudo foi realizado em um dia de verão, em um protótipo de edifício bem isolado e com o condicionamento sendo ligado quando a temperatura interna superava os 26°C. Percebe-se pelos dados que o adendo da ventilação natural pode levar a uma economia de energia (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Tabela 1: Janelas e ventilação (números em kWh/dia)

	Janela	Vidro simples	Vidro duplo
Ocupação Noturna (fechada de noite)	Aberta de dia	19,0	-
	Fechada de dia	9,0	5,5
	Fechada de dia c/ proteção solar	7,0	3,7
Ocupação Diurna (fechada de dia)	Fechada de noite	10,7	5,5
	Aberta de noite	10,3	4,6
	Aberta de noite c/ proteção solar	8,0	2,9

Fonte: Corbella e Yannas (2003).

Para Corbella e Yannas (2003), é relevante perceber as modificações dos padrões dos ventos por conta da densidade urbana. Caso não existam dados dos ventos de uma localidade, esses podem ser reconhecidos pela análise da topografia e observando as erosões e deformações das árvores na região.

Goulart (2004) afirma que “o efeito da ventilação noturna é sempre positivo para o desempenho térmico de uma edificação, comparado a um modelo sem ventilação noturna”. Já a ventilação diurna tem pouco efeito na condição térmica interna quando se aplica outras estratégias de projeto para clima quente e úmido.

Várias das considerações mencionadas são corroboradas pela pesquisa do estado de arte sobre o tema elaborada por Santamouris e Kolokotsa (2013). Como exemplo os autores citam o uso da ventilação noturna como forma de arrefecer o ganho de calor que o edifício acumula durante o dia. Os autores apuraram estudos realizados para várias tipologias construtivas (escritórios, residências, indústrias, etc.). O implemento de um ventilador para fornecer fluxo de ar suficiente para troca de calor quando a velocidade do vento não é suficiente também é aludida no texto. A ventilação noturna é citada inclusive como forma de minimizar os custos operacionais com condicionadores de ar.

Santamouris e Kolokotsa (2013) mostram vários trabalhos realizados em modelos, através de simulação computacional, de ventilação em edificações de multi-zonas juntamente com análise de fluxo térmico. Com o uso desta ferramenta, é possível projetar de forma mais eficiente energeticamente e tornar os edifícios mais sustentáveis. Mas, os autores ressaltam

que um ponto crítico verificado por vários pesquisadores são as incertezas da ventilação noturna por conta das condições do ambiente externo. A existência de ilhas de calor pode interferir no potencial arrefecimento quando se trata de um contexto urbano. Além disso, a geografia do local de implantação do edifício, como vales por exemplo, diminuem o fluxo de ar e, por tanto, a eficácia desta técnica passiva de condicionamento. Avaliada a literatura, Santamouris e Kolokotsa (2013) concluíram que a ventilação natural é uma das técnicas passivas efetivas para resfriamento, com excelentes resultados em aplicações em escala real.

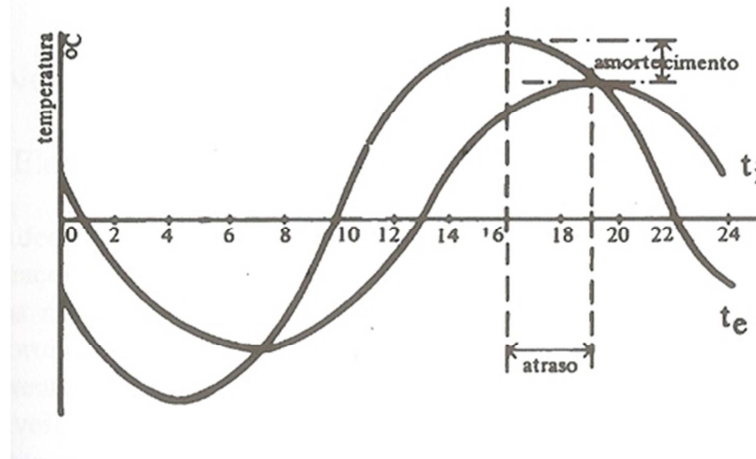
2.2.2.2 *Inércia térmica*

À inércia térmica de um componente da envoltória estão associados dois fenômenos relativos ao comportamento térmico de um edifício, que são o amortecimento e o atraso da onda de calor. Estes dois fatos ocorrem devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais. Mas a inércia térmica depende também das características térmicas dos componentes internos da edificação. Estes efeitos dependem da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica dos elementos (FROTA, 2003).

Em edificações com superfície de grande capacidade calorífica, o calor que as atravessa por transmissão durante o dia é consumido primeiramente para aquecimento do ambiente. Quando chega a noite, com temperaturas mais baixas, a parede, inicialmente aquecida, tende a esfriar e o processo de transmissão através da mesma é bastante reduzido. O amortecimento diz respeito à diferença entre os picos das temperaturas externas e internas. Este fenômeno refere-se ao enfraquecimento da onda de variação da temperatura (COSTA, 1982).

O atraso térmico (φ) é definido pela ABNT (2003) como “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. Na figura 7 verificam-se estes dois fenômenos, onde uma das curvas representa a variação da temperatura externa e a outra da interna, sem considerar os ganhos de calor solar (FROTA, 2003).

Figura 7: Exemplo de curvas de variação de temperaturas externa e interna de um recinto



Fonte: Frota (2003)

O cálculo do atraso térmico de um componente formado por diferentes materiais depende de vários fatores, conforme expressam as equações 2, 3, 4 e 5. (ABNT, 2003).

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad [2]$$

Onde:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad [3]$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_t - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad [4]$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} \quad [5]$$

Onde:

λ é a condutividade térmica do material;

ρ é a densidade de massa aparente do material;

c é o calor específico do material;

C_T é a capacidade térmica total do componente;

C_{Text} é a capacidade térmica da camada externa do componente.

A NBR 15220-2/03 fornece valores de densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de vários materiais e estes podem ser utilizados nos cálculos

acima citados. Também são citados cálculos de componentes de vedação, como paredes de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces. Para o cálculo das propriedades térmicas que não constam nas tabelas da norma, usam-se as equações 6 (ABNT, 2003).

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad [6]$$

Onde:

e é a espessura da camada.

A citada norma também mostra exemplos de cálculos de transmitância térmica (U) e fator solar (FSO) de elementos opacos, que são propriedades que influenciam na inércia térmica de um componente (equações 7 a 9).

$$U = 1/R_T \quad [7]$$

Onde:

$$R_T = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} \quad [8]$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ são as resistências térmicas das n camadas homogêneas do componente.

$$FSO = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad [9]$$

Onde:

α é a absorptância à radiação solar em função da cor.

Na NBR 15220/03 encontram-se valores de α para alguns materiais e cores.

Segundo Frota (2003), “uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura”. Mas deve-se lembrar que os revestimentos também atuam nas trocas de calor e que materiais isolantes reduzem a inércia. Assim, para o cálculo da inércia térmica de um ambiente consideram-se as paredes, o piso e o teto, sendo que quando os elementos dividem dois cômodos considera-se apenas metade de sua espessura.

Corbella e Yannas (2003) definem a inércia térmica como sendo “(...) a capacidade que têm os corpos de permanecer no estado em que se encontram”. Nas relações térmicas isto significa a competência de manter a temperatura mais constante. Duas propriedades dos

materiais de construção ilustram este fato: a difusividade “ a ” e a efusividade “ b ”. A difusividade refere-se a forma como um corpo difunde a energia térmica e é proporcional à velocidade de propagação de uma onda de temperatura dentro de uma parede ou teto. A efusividade indica a forma como o elemento acumula temperatura. Ambas as propriedades dependem da capacidade térmica “ k ”, da massa específica “ ρ ” e do calor específico “ c ”.

Para a determinação da difusividade é preciso conhecer o calor específico volumétrico “ μ ”, que é o produto de c e ρ , e determina o quanto de calor é necessário para aumentar a temperatura do material em 1°C em 1 unidade de volume, em J/m³/°C. Tem-se então que o quociente de k e μ é igual a difusividade. Quando a é alta, a velocidade de propagação da onda de temperatura também o é (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Quando a energia térmica é absorvida por algum elemento a temperatura do ar não pode se elevar, pois estará cedendo calor para este corpo. Trata-se da efusividade, quando consegue-se um amortecimento da variação da temperatura interna comparado à temperatura externa. Este fenômeno é a raiz do produto de k e μ , e é proporcional à quantidade de energia que um material é capaz de absorver (e depois restituir). Sendo assim, um elemento interno com alto valor de b roubará energia do ar, mantendo a temperatura do ambiente mais amena. No caso da temperatura interna de um cômodo baixar, os elementos de alta efusividade devolvem a energia guardada, minimizando o resfriamento do ambiente (CORBELLA e YANNAS, 2003).

De maneira geral, quando se utiliza a massa térmica associada com boa orientação solar, sombreamento e ventilação natural em climas quentes e úmidos, pode-se conseguir bom desempenho térmico da edificação. Este efeito é alcançado também quando a inércia térmica é combinada com a ventilação noturna, em localidade onde a amplitude térmica não seja maior que 10°C e a máxima não ultrapasse 31°C (GIVONI, 1994; GOULART, 2004).

Papst (1999), através de sua investigação em residências em Florianópolis, identificou alguns fatores relevantes do uso da inércia térmica em clima subtropical. Uma das considerações feitas pela autora é que “ambientes como dormitórios, é mais interessante permitir um resfriamento mais efetivo com as quedas de temperatura de verão, através de ampla ventilação noturna, e ou, materiais leves”. No caso da aplicação deste tipo de envoltória deve-se prover ganhos de calor no inverno, como com o uso de aquecimento solar passivo. A autora ressalta que as edificações que se utilizam de inércia térmica devem ter boa orientação solar, além de serem ventiladas naturalmente no verão apenas quando a temperatura externa for inferior a interna.

Em um experimento de campo realizado em quatro residências na mesma cidade, de foi averiguado que a inércia térmica não pode ser considerada de forma isolada. Após a análise dos dados gerados pela pesquisa de campo, através de simulação computacional, conclui-se que somente a alta inércia térmica das paredes não avaliza o melhor desempenho térmico dos cômodos logo abaixo da cobertura. Além disso, o estudo demonstrou a pior performance térmica quando há a combinação de alta inércia térmica com alto ganho de radiação solar (grandes áreas de janelas sem sombreamento) sem uso da ventilação. Este aspecto evidencia a importância da ventilação noturna como forma de garantir a dissipação do calor absorvido pelas superfícies (GOULART, 2004).

A baixa inércia térmica das paredes tem melhor desempenho térmico para um limite de 27 °C de temperatura. Isso ocorre porque há uma rápida dissipação de calor durante a noite, quando as temperaturas são menores. Mas, quando tem-se um limite de 29 °C, a alta inércia térmica fornece melhor efeito, devido a alta capacidade térmica, especialmente quando evita-se o ganho solar e aplica-se a ventilação noturna (GOULART, 2004).

O estudo realizado para climas de nove cidades brasileiras apresentou alto índice de proporcionalidade da resistência térmica das fachadas com o desconforto por calor acumulado em um ano. As simulações foram feitas avaliando o mesmo ambiente de escritório, ventilado e ocupado, com quatro tipos diferentes de concreto nas paredes externas e diferentes taxas de ventilação. Segundo os autores “em relação ao frio, (...), os níveis de desconforto são diretamente proporcionais às transmitâncias térmicas e às taxas de ventilação” (RORIZ, CHVATAL e CAVALCANTE, 2009)

As superfícies que recebem radiação solar intensa, principalmente coberturas e paredes leste e oeste, devem ser protegidas com vegetação ou outros elementos, caso contrário necessitam ser de materiais pesados e receber uma capa de isolante térmico. Caso a amplitude térmica diária for frequentemente maior a 10°C, é interessante a utilização de materiais densos nas paredes externas e internas. Para dissipar o calor interno de ambientes habitados, pode-se lançar mão da transferência de energia térmica de materiais bons condutores para cômodos inabitados. Dispor de elementos internos que absorvam calor também é uma forma de diminuir a temperatura do ambiente e esta energia pode ser restituída quando a temperatura baixar (tabela 2) (CORBELLA e YANNAS, 2003).

Tabela 2: Exemplo para uma parede de 30cm

Propriedade	Difusividade (a) ($10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$)	Velocidade da T_{max} (cm/h)	Tempo de retardo (horas)	Amortecimento da onda (%)	Efusividade (b) $\text{J/m}^2/^\circ\text{C/S}^{1/2}$	Energia acumulada (W/m^2)
Material						
Madeira	9	1,3	23,1	0,2	460	17
Concreto	71	3,7	8,2	11,7	1630	59
Granito	160	5,5	5,5	23,9	3000	108
Lã mineral	160	5,5	5,5	23,9	28	1
Aço	1483	16,7	1,8	62,5	14020	507

Fonte: Corbella e Yannas (2003).

2.3 Desempenho térmico de edificações

A prática de pensar nos fins e não nos meios, ou seja, de atender a requisitos e não a prescrições foi a definição do conceito de desempenho dada por Gibson, em 1982. A ideia de desempenho das edificações está relacionada ao seu comportamento quando em utilização. A norma ISO 6241, onde foi definida uma lista de condições funcionais dos usuários de imóveis, é uma referência no assunto. A percepção do usuário está diretamente ligada à questão da performance, que pode ser diferente conforme o clima ou o nível de ruído a que os ocupantes são expostos (BORGES, 2010).

Conforme a ABNT (2008),

A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu cumprimento (ABNT, 2008).

Segundo Borges (2010), o desafio é a mensuração dos requisitos e critérios, traduzindo a necessidade dos usuários dentro de determinadas condições de uso e que sejam viáveis técnica e economicamente.

A avaliação do desempenho térmico pode ser realizada por medição, por métodos prescritivos e por meio de simulação computacional.

Em 1997, Barbosa (1997) desenvolveu uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. Este estudo resultou em duas formas de análise, a prescritiva e a por simulação. Barbosa e Lamberts (2002) comentam que “os critérios prescritivos são usados quando uma quantidade mínima de esforço para determinação da conformidade é desejada”. Neste trabalho, os parâmetros para a avaliação do

desempenho é representada pela quantidade de horas de desconforto anual no ambiente interno.

Na literatura encontram-se diversas pesquisas e estudos de caso relacionando o desempenho térmico com determinado clima. Pode-se citar aqui Yilmaz (2007), que avalia as estratégias de projeto em diferentes zonas climáticas da Turquia. Para isto, o autor afere o mesmo edifício em clima temperado-úmido e quente e seco, sem o uso das táticas de projeto recomendadas pela norma local e usando o conceito de graus-dia. A mesma orientação de fachada e envelope foi constituída para os dois casos. Diferentes possibilidades construtivas, com índices distintos de transmitância térmica, foram analisadas através de cálculos térmicos para janeiro e julho. Em uma segunda etapa, como suporte para os resultados, o autor realizou estudos de caso em residência de construção tradicional (parede de pedra) e moderna (parede de tijolo), no clima quente e seco de Mardin. A conclusão foi que o coeficiente de transferência de calor do envelope e a transferência de calor em estado estacionário não são suficientes para determinar o desempenho térmico do edifício. Yilmaz (2007) ressalta que, para o clima estudado, é preciso avaliar um modelo dinâmico no estágio de projeto, onde a massa térmica da envoltória possa fornecer, resfriamento, aquecimento e conservação de energia.

Em 2004, Abreu desenvolveu um método simples para estimar as temperaturas de ambientes em uso, e naturalmente ventilados, a partir da medição de dados externos e internos em pequeno período de tempo. Com essa metodologia é possível comparar o comportamento térmico de diferentes ambientes sobre uma mesma condição climática. É possível estimar temperaturas médias, máximas e mínimas internas e também as horárias. O modelo foi desenvolvido a partir de pesquisa realizada na cidade Florianópolis. Para aferição do método elaborado, esse foi experimentado nas mesmas residências de estudo e em casas ocupadas da Vila Tecnológica de Curitiba. Com a correlação observada pela autora entre as temperaturas externas e internas, pode-se dizer que as medições representam a “assinatura térmica” da ocupação em questão em seu clima específico.

Com o objetivo de desenvolver um método de avaliação de desempenho térmico de residências unifamiliares em clima quente e úmido, tem-se Oliveira (2006). O citado autor realizou seu estudo na cidade de Natal/RN, empregando o arquivo climático TRY (ano climático de referência). Como ferramenta de simulação, Oliveira (2006) utilizou o programa *VisualDOE*. O critério usado foi o da temperatura interna, com a proposta de zona de conforto expressa pelo modelo adaptativo. Como conclusão, o pesquisador expõe a complexidade de analisar o comportamento térmico em casos distintos, com rotinas e ocupações diferentes e a

necessidade de estudos para escolha de índices de conforto térmico adequados às questões climáticas e sócio-culturais brasileiras. Sua contribuição se dá também no aspecto de elaborar recomendações de projeto para a tipologia examinada em climas quentes e úmidos.

Outra investigação é a de Afonso (2009), que visou identificar as medidas de reabilitação para melhoria do comportamento térmico, no inverno e no verão, de um edifício antigo situado na cidade de Lisboa. A motivação do autor deve-se às questões sobre o aquecimento global, os desafios energéticos a ele associados e ao atendimento das exigências da regulamentação portuguesa sobre característica do comportamento térmico dos edifícios. O autor recorre a dois métodos de análise, o estático, baseado na metodologia indicada na norma local e o dinâmico, com a utilização do *software EnergyPlus*. Sendo seu estudo realizado em território europeu, onde existe forte consciência de patrimônio arquitetônico, o autor ressalta que há diferença entre reabilitação e conservação e restauro.

Para realização da avaliação do comportamento térmico da edificação foco de seu estudo de caso, Afonso (2009) estuda os fenômenos de transferência de calor em edifícios, ou seja, condução, convecção e radiação. Compreende-se a intenção deste exame ao verificar os aspectos avaliados em sua análise estática. Estes aspectos são conferidos distintamente para as estações de inverno e verão, pois se relacionam às perdas e ganhos de calor associadas aos materiais, à orientação das fachadas, aos fatores de sombreamento e à movimentação do ar. Na realização da análise dinâmica, Afonso (2009) explica que a possibilidade de análise pontual da taxa de ventilação é uma das vantagens no uso do programa *EnergyPlus*, comparada com a regulamentação. Este fato permite o estudo do edifício com maior detalhe. Outra vantagem expressa na investigação é que os valores generalizados de ganhos solares definidos pela norma não são tão eficazes quanto à variação da intensidade e da incidência da radiação solar. Segundo o autor “esta diferença de abordagem pode ser determinante quando se procura analisar a eficácia dos dispositivos de sombreamento móveis, que devem ser usados em alturas muito pontuais”.

A avaliação elaborada por Krüger e Laroca (2010) em protótipos habitacionais de baixo custo no sul do Brasil, também é um referência neste assunto. A construção analisada era de madeira e painéis de compensado, pré-fabricadas, conforme definido no programa de habitações social para cidade de Canoinhas/SC e foi projetada por um dos autores. As temperaturas externas e internas do protótipo foram monitoradas no verão e simulações foram realizadas para mensurar o desempenho térmico em diferentes condições climáticas e aprimoramentos de projeto.

Os climas das cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre foram simulados para verão e inverno, a partir dos dados do ano climático de referência de cada uma delas. Os períodos de aberturas para ventilação foram definidos para cada estação estudada. Para avaliação do desempenho foi considerada a faixa de conforto adaptativo da ASHRAE. Também foi aplicado o método de graus-hora de aquecimento e refrigeração (KRÜGER E LAROCA, 2010).

Os resultados da medição mostraram que as temperaturas internas do protótipo permaneceram dentro da faixa de conforto, com 80% de aceitabilidade. Nas simulações as temperaturas de inverno ficaram entre 12°C e 17°C e entre 23°C e 27°C no verão. As dificuldades da investigação deram-se por conta do uso de um *software* desenvolvido na Suécia, de clima distinto do Brasil, e pela limitação de dados climáticos confiáveis na região onde o protótipo foi construído. As informações meteorológicas de entrada para Canoinhas foram as de Curitiba, que, apesar de possuir clima e altitude semelhantes, possui dados diferentes de radiação solar e condição de céu (nublado, parcialmente nublado, etc.). Os autores verificaram que o projeto original pode ser adequado para outras localidades no sul do país e que, quando se trata de cidades mais frias, é interessante o implemento de isolamento na cavidade das paredes (KRÜGER E LAROCA, 2010).

A influência de técnicas de condicionamento térmico passivo – dispositivos de sombreamento, as cores das fachadas, tipo dos vidros e outros – é relatada igualmente nas construções edificadas no deserto, de clima quente e árido. Sendo assim, Ahmed (2012) elaborou uma investigação sobre o efeito do comprimento de grelhas verticais no desempenho térmico de residências. Para este fim, foi necessário o estudo do clima e dos padrões de edifícios residenciais da cidade em questão, Nova Assuit, Egito. Com estas informações foi definido um modelo para simulação no *software* TAS. A análise do clima foi realizada através dos dados fornecidos pela Autoridade Meteorológica Egípcia, onde estavam inclusas as variáveis de intensidade de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e vento.

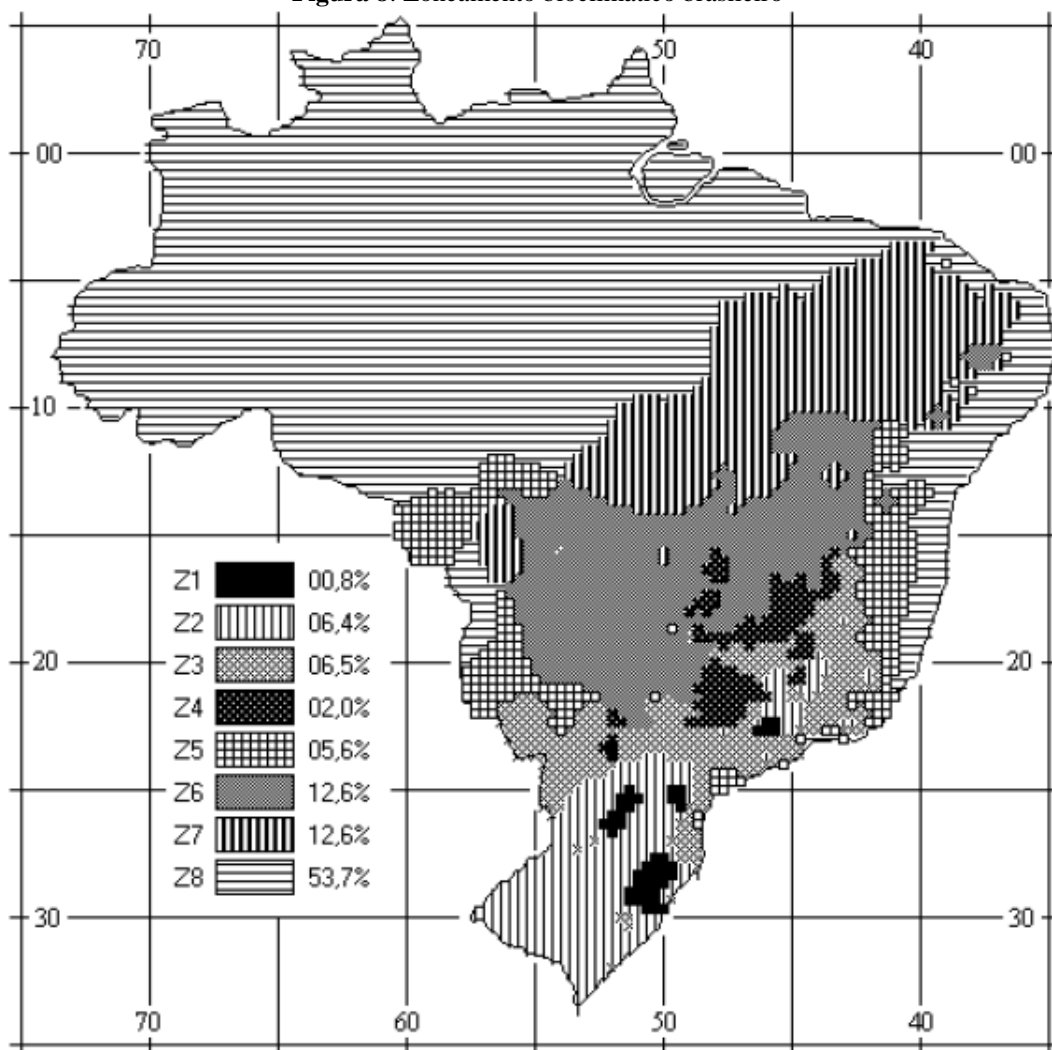
2.3.1 Normas brasileiras de desempenho térmico

Com relação às questões de desempenho térmico de edificações existem duas normas brasileiras a serem citadas: a NBR 15220/03: Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575/08: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.

A NBR 15220/03 divide-se em 5 partes, sendo importantes para esta pesquisa as partes 2 e 3. A segunda parte da norma refere-se aos métodos de cálculo de fenômenos que influenciam o desempenho térmico das edificações e que foram citados no item 2.2.2.2 deste trabalho. Na terceira parte da norma é apresentado o zoneamento bioclimático brasileiro e recomendações para desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com até três pavimentos (ABNT, 2003).

Na NBR 15220-3/03 o zoneamento bioclimático brasileiro está dividido em 8 zonas, como apresenta a figura 8. Consta também nesta norma uma relação de 330 cidades cujos climas foram classificados e a metodologia adotada na determinação do zoneamento. A partir da zona da localidade é possível verificar as diretrizes construtivas e as estratégias de condicionamento passivo para conforto térmico (ABNT, 2003).

Figura 8: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT (2003)

Para classificação das zonas bioclimáticas foi adotada a carta de Givoni (1992). Os dados climáticos das localidades (médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e de umidade relativa) foram então plotados no diagrama e formulou-se um conjunto de oito zonas relativamente homogêneas (ABNT, 2003).

A cidade de Joinville, foco deste estudo, não consta na relação apresentada na norma. Segundo Lopes (2009), a referida localidade pertence à zona bioclimática (ZB) cinco, especificada pela NBR 15220-3/03. Para esta zona as diretrizes recomendadas são:

- Aberturas médias para ventilação;
- Sombreamento de aberturas;
- Vedação externa leve e refletora;
- Cobertura leve e isolada;
- Ventilação cruzada no verão;
- Vedações internas pesadas para inverno (inércia térmica).

A ventilação cruzada é obtida pela circulação de ar entre os ambientes e para isto deve-se atentar para a direção dos ventos predominantes da região (ABNT, 2003).

A partir da ampliação dos dados climáticos disponíveis, Roriz (2012) elaborou uma nova proposta de zoneamento bioclimático para o Brasil. Nesta revisão o número de localidades medidas passou para 1281, sendo as demais estimadas por dados medidos por satélite ou por interpolação. Para o estudo foram utilizados os dados de temperaturas médias, mensais e anuais, mínimas e máximas do ar, além da consideração das médias da amplitude térmica. Cada ponto do mapa apresentado no documento representa um quadrado de aproximadamente 6 km de lado.

O critério de classificação das zonas bioclimáticas utilizado por Roriz (2012) reflete o comportamento térmico e energético das edificações e foi realizado avaliando o total anual de graus-hora de calor (GhC) e de frio (GhF). O cálculo destes dois parâmetros seguem as Equações 10 e 11.

$$GhC = \sum_{m=1}^{12} T_{\max(m)} - 28 \quad (se \ T_{\max(m)} > 28^{\circ}C) \quad [10]$$

$$GhC = \sum_{m=1}^{12} 18 - T_{\min(m)} \quad (se \ T_{\min(m)} < 18^{\circ}C) \quad [11]$$

Onde:

T_{\max} = média das temperaturas máximas mensais;

T_{min} = média das temperaturas mínimas mensais;

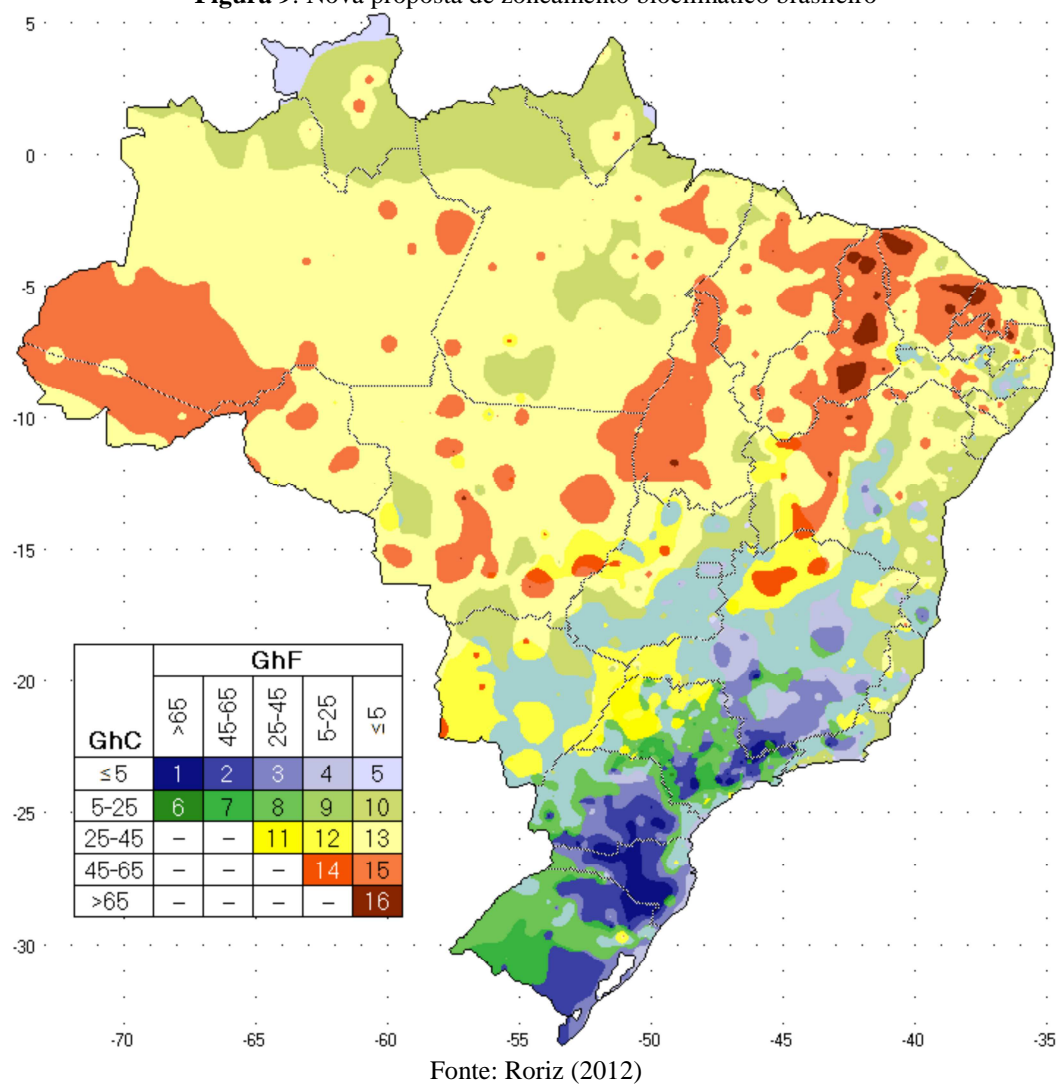
O intervalo de temperatura confortável segue a proposta de Givoni (1992), ou seja, entre 18°C e 28°C. O limite de 28°C refere-se a uma média entre os limites superiores para diferentes índices de umidade relativa. Com isso, o território brasileiro dividiu-se em 16 zonas bioclimáticas (tabela 3).

Tabela 3: Definição das 16 zonas bioclimáticas para o Brasil

GhC	GhF				
	>65	45-65	25-45	5-25	≤5
≤5	ZB 1	ZB 2	ZB 3	ZB 4	ZB 5
5-25	ZB 6	ZB 7	ZB 8	ZB 9	ZB 10
25-45	--	--	ZB 11	ZB 12	ZB 13
45-65	--	--	--	ZB 14	ZB 15
>65	--	--	--	--	ZB 16

Fonte: Roriz (2012).

Assim, a nova proposta do mapa de zoneamento bioclimático para o Brasil tem a configuração que mostra a figura 9.

Figura 9: Nova proposta de zoneamento bioclimático brasileiro

Já a NBR 15575/08 abrange as questões de desempenho de edifícios até cinco pavimentos sobre vários aspectos, que podem ser analisadas de forma isolada ou como um todo. Os itens expostos nesta norma para avaliação de desempenho são:

- Desempenho estrutural;
- Segurança contra incêndio;
- Segurança no uso e operação;
- Estanqueidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Desempenho lumínico;
- Durabilidade e manutenibilidade;
- Saúde, higiene e qualidade do ar;
- Funcionalidade e acessibilidade;

- Conforto tátil e antropodinâmico;
- Adequação ambiental.

Na referida norma tem-se que desempenho é o “comportamento em uso de um edifício e de seus sistemas” e que a avaliação do mesmo “(...) busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada” (ABNT, 2008).

A NBR 15575/08 estabelece os procedimentos para avaliação do desempenho térmico de um edifício habitacional e cita que este deve reunir atributos que atendam este fim. Para isso deve ser considerada a região de implantação da edificação e suas características bioclimáticas, definidas na NBR 15220-3/03 (ABNT, 2008).

São três os procedimentos indicados para análise do desempenho térmico de um edifício. O primeiro deles consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para os sistemas de vedação e para o sistema de coberturas, constantes nas partes 4 e 5 da NBR 15575/08. O segundo procedimento refere-se à verificação através de simulação computacional e o terceiro à realização de medições *in loco* ou em protótipos. As duas últimas formas de análise são consideradas mais detalhadas (ABNT, 2008).

Como citado, para analisar de forma global a performance térmica de uma edificação, a NBR 15575/08 sugere o uso da simulação ou da medição. Para determinar este desempenho há duas referências, as exigências no verão e no inverno. No verão, o valor máximo diário de temperatura do ar interno, em ambientes de permanência prologada e sem a presença de fontes de calor (ocupantes, equipamentos, etc.), deve ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar externo. No inverno, a temperatura do ar interno, para ambientes de permanência prolongada, deve ser igual ou maior do que a temperatura do ar externo acrescida de 3°C. Os valores citados dizem respeito ao nível mínimo de aceitação da referida norma (ABNT, 2008).

Para o procedimento através de simulação a ABNT (2008) cita o uso do programa *EnergyPlus*, e expõem que esta deve ser feita para um dia típico de projeto de verão e de inverno. Para isso necessitam serem utilizados os dados climáticos da cidade onde será implantada a edificação, que são:

- Latitude;
- Longitude;
- Altitude;
- Temperatura mínima;
- Temperatura máxima.

Estas informações são conseguidas através das normais climatológicas da localidade. No caso de não existir dados medidos para a localidade a ser investigada, a norma recomenda utilizar as informações da cidade mais próxima, pertencente à mesma zona bioclimática e com altitude de mesma ordem de grandeza (ABNT, 2008).

Conforme a ABNT (2008), na simulação precisam ser considerados todos os cômodos da habitação e as trocas térmicas entre eles e as análises devem referir-se aos dormitórios e salas. Também se necessita considerar os recintos adjacentes não pertencentes à unidade de análise. A unidade habitacional (UH) selecionada para estudo deve possuir pelo menos um dormitório ou sala com duas paredes expostas ao ambiente externo e a orientação dessas precisam seguir os seguintes critérios:

- Verão: janela orientada para oeste e a outra parede exposta para o norte;
- Inverno: janela voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste;
- Obstrução de elementos externos: janelas e paredes expostas sem presença de edificação ou vegetação que modifiquem a incidência de sol e/ou vento.

A ABNT (2008) recomenda considerar uma taxa de ventilação de 1 ren/h e aberturas sem sombreamento, exceto quando o edifício analisado apresentar algum tipo de dispositivo para este fim. No caso da análise da absorptância à radiação solar (α) das superfícies expostas, é necessário considerar a cor e as características das mesmas. A norma prescreve que para cores claras o valor de α é igual a 0,3, para cor média é igual a 0,5 e para cores escuras é igual a 0,7. As propriedades térmicas que caracterizam o desempenho térmico mínimo das vedações verticais, segundo a referida norma, constam nas tabelas 4 e 5. Para as coberturas são recomendados valores máximos de transmitância térmica considerando fluxo térmico descendente (tabela 6) e elementos com capacidade térmica maior ou igual a 150 kJ/m².K para todas as zonas, com exceção da 7, sem uso de isolamento e sombreamento. Os cálculos para estes atributos devem seguir os procedimentos constantes na NBR 15220-2/03.

Tabela 4: Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica (U, em W/m ² .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Nota:

a) é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2008)

Tabela 5: Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (k , em $\text{kJ/m}^2\cdot\text{K}$)	
Zonas 8	Zonas 1 a 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575 (2008)

Tabela 6: Critério para coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância Térmica (U , em $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zona 7 e 8 ^{a)}	
$U \leq 2,30$	$\alpha^{b)} \leq 0,6$	$\alpha^{b)} > 0,6$	$\alpha^{b)} \leq 0,4$	$\alpha^{b)} > 0,4$
	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,50$	$U \leq 2,30 \text{ FV}$	$U \leq 1,50 \text{ FV}$

Nota:

- a) na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que não tenha forro;
- b) α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura;
- FV = fator de ventilação estabelecido na ABNT NBR 15220-2;
- Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2008)

A NBR 15575/08 estabelece três níveis de desempenho, sendo eles o nível mínimo (M), o intermediário (I) e o superior (S). No caso do desempenho térmico, têm-se os valores de referência para nível nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,\max} \leq T_{e,\max}$	$T_{i,\max} \leq T_{e,\max}$
I	$T_{i,\max} \leq (T_{e,\max} - 2^\circ\text{C})$	$T_{i,\max} \leq (T_{e,\max} - 1^\circ\text{C})$
S	$T_{i,\max} \leq (T_{e,\max} - 4^\circ\text{C})$	$T_{i,\max} \leq (T_{e,\max} - 2^\circ\text{C})$ e $T_{i,\min} \leq (T_{e,\min} + 1^\circ\text{C})$

Nota específica:

 $T_{i,\max}$ = valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em $^\circ\text{C}$; $T_{e,\max}$ = valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em $^\circ\text{C}$; $T_{i,\min}$ = valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em $^\circ\text{C}$; $T_{e,\min}$ = valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em $^\circ\text{C}$;

Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2008)

Tabela 8: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 5	Zona 6 a 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	

Nota:

$T_{i,min}$ = valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C;

$T_{e,min}$ = valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C;

Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2008).

2.4 Simulação computacional de desempenho térmico

Com o avanço da Ciência da Computação e advento do computador pessoal (PC), muitos programas foram desenvolvidos, alguns focados em tarefas específicas de determinados campos do conhecimento.

No setor da construção civil, programas surgiram para atender às necessidades dos profissionais e técnicos, como os de cálculo estrutural e os de orçamentação de obras. A criação das plataformas CAD (*Computer Aided Design*) trouxe grande progresso e agilidade para área de projetos e, com o avanço da capacidade de processamento dos PC's, os *softwares* de desenho passaram a um novo nível, a plataforma BIM (*Building Information Modeling*).

A crise do petróleo na década de 70 gerou um imperativo de buscar fontes alternativas de energia e de melhorar o desempenho energético das edificações – responsáveis por uma parcela significativa do consumo na maior parte do planeta. Com isso começaram a serem criados programas para simulação de desempenho de edificações (PSDE), como DOE-2, BLAST, RADIANCE e ESP-r (MENDES *et al.*, 2005).

Sattler (1991b) afirmou que “A análise da resposta térmica de edificações face às condições ambientais características de um determinado local resulta difícil pelo grande número de variáveis intervenientes”. A respeito disso o autor cita que são necessários dois conjuntos de dados, um que diz respeito ao edifício e outro sobre as questões climáticas da localidade. No primeiro grupo incluem-se as informações relativas aos materiais e componentes construtivos, à orientação e ao projeto. No segundo conjunto de dados estão inseridas as variáveis dos diversos elementos meteorológicos. Tendo em conta estes fatores, Sattler (1991b) explica que a análise da condição térmica do edifício por meio de calculadoras manuais pode ser uma tarefa laboriosa, mesmo em situações simplificadas.

Mendes, *et al.* (2005) resumem as possibilidades de estudos dos programas de simulação computacionais:

Através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução (MENDES, *et al.*, 2005).

Na época da publicação do artigo, Sattler (1991b) já menciona a existência de centenas de programas computacionais para simulação de transmissão de calor para fins específicos. A maioria dos *softwares* foi desenvolvida com o objetivo de minimizar o consumo energético nas edificações. Em sua pesquisa Mendes *et al.* (2005) mencionam que mais de 290 PSDE estavam listados no *Building Energy Software Tools Directory*. Até novembro de 2013 constavam nesta mesma lista informações de 411 *softwares* para avaliação de eficiência energética, energia renovável e sustentabilidade em edificações (DOE, 2013).

Além dos PSDE informados pelo *United States Department of Energy* (DOE), outros inúmeros programas foram criados para simular o desempenho térmico dos edifícios, além de avaliar outras questões relacionadas ao objeto construído. Um deles é o THEDES, que foi desenvolvido com intenção de atender a otimização de projetos arquitetônicos brasileiros, principalmente os de baixa renda, de forma a torna-los mais eficientes, melhorando assim sua habitabilidade. Os algoritmos de cálculo deste *software* baseiam-se no Método da Admitância, que pressupõe um regime cíclico permanente de variação de energia e temperatura ao longo do tempo. A simulação é feita com valores horários dos dados climáticos, assim como dos ganhos de calor resultantes da presença de usuários e equipamentos (SATTLE, 1991b).

Com a popularização dos PCs, alguns programas ganharam interfaces para o sistema operacional *Windows*. A evolução dos computadores permitiu a criação de *softwares* com maior capacidade de processamento, como o *EnergyPlus*, desenvolvido a partir do DOE-2 e do BLAST (MENDES *et al.*, 2005).

No Brasil, a partir da década de 80, começaram a se formar grupos de pesquisa focados na melhoria da eficiência energética das edificações e que se utilizavam da simulação computacional. Essa atividade se consolidou com a realização da VII Conferência da Associação Internacional para Simulação do Desempenho de Edificações (IBPSA) na cidade do Rio de Janeiro, em 2001. Neste momento, através de uma pesquisa com os participantes do evento, averiguou-se que o uso desta ferramenta era praticamente restrito aos estudos

científicos (MENDES *et al.*, 2005). Outro efeito do uso da simulação foi constatado por Carlo *et al.* (2003 *apud* MENDES *et al.*, 2005), que foi a iniciativa de governos municipais (Salvador/BA e Recife/PE) na implementação leis de eficiência energética.

O Mestre *Building Simulation System*, ou simplesmente MESTRE, é um dos PSDE desenvolvidos no Brasil. Trata-se de um *software* gratuito para simulação de desempenho térmico, acústico e lumínico de edificações. O sistema, iniciado em 2001, usa a linguagem Java e é baseado em um código de luz. A ideia do autor era criar um programa portátil com dados de clima e materiais disponíveis no Brasil. A validação do MESTRE ocorreu em 2011, conforme a rotina de testes exigidos para sistemas de múltiplas zonas sem fluxo de ar do *Building Energy Simulation Tool Bestest and Diagnostic Method* da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) (SCHMID e GRAF, 2011).

Inúmeros outros exemplos de simuladores são identificados na literatura. Um desses é apresentado He, Hoyano e Asawa (2009). Os autores verificaram a falta de PSDE disponíveis que considerem as interações do entorno no microclima, exterior e interior, de um edifício. Sendo assim criaram uma ferramenta para este fim. Através de modelos 3D-CAD, árvores, edifícios e outras estruturas podem ser analisados. Na configuração do programa, onde os volumes são construídos em forma de redes de malhas, a temperatura do ar e a velocidade do vento são uniformemente distribuídas nos espaços ao ar livre. O balanço térmico é descrito em forma de equações matemáticas e as informações de radiação dos materiais são considerados nos cálculos. Um conjunto habitacional foi utilizado para o estudo de sensibilidade do *software*, onde todas as edificações do entorno são iguais e incluíram árvores nos quatro pontos cardeais. Os pesquisadores concluíram que o método de simulação desenvolvido é eficaz na previsão do efeito do microclima do entorno na performance térmica do ambiente interno de uma edificação.

A partir do início do século XXI houve um rápido aumento no interesse por pesquisas relacionadas à otimização das edificações e isto se configura como um pequeno indício de mudança futura no setor. O progresso da Ciência da Computação e a configuração de requisitos mais rigorosos com relação ao desempenho dos edifícios, como os códigos de construção verde e edifícios de energia zero, são motivações para este rumo (NGUYEN, REITER E RIGO, 2014).

Nguyen, Reiter e Rigo (2014) realizaram uma revisão bibliográfica sobre os 20 simuladores mais utilizados para otimização de projetos. Entre estes estavam: (a) EnergyPlus; (b) TRNSYS; (c) DOE-2; (d) ESP-r; (e) EQUEST; (f) ECOTECT; (g) DeST; (h) Energy-10; (i) IDE-ICE; (j) Bsim; (k) IES-VE; (l) PowerDomus; (m) HEED; (n) Ener-Win; (o) SUNREL;

(p) Energy Express; (q) BLAST; (r) TAS; (s) TRACE; (t) HAP. A pesquisa foi realizada em abril de 2013, na base Scopus – maior banco de dados de resumos e citações de revisão de pares da literatura – para o período de 2000 a 2013. Segundo os autores, “A pesquisa parece confirmar que o *EnergyPlus* e o TRNSYS são os programas de simulação de edifícios principalmente usados em estudos de otimização”.

Muitos dos PSDE existentes têm seu foco na eficiência energética e, na sua maioria, são desenvolvidos por engenheiros ou físicos, com intenção de criar ferramentas científicas para resolução de problemas. Estes instrumentos são construídos dentro de um paradigma da Teoria dos Sistemas, ou seja, na investigação de totalidades hierarquicamente organizadas, onde entidades não são tratadas de forma isolada, chamados de modelos. Isto significa que o objetivo é compreender como cada peça é arranjada e qual o seu comportamento quando em um todo. Assim, o modelo é mais do que simplesmente a soma das partes e seu comportamento não pode ser previsto sem considerar o conjunto (VON BERTALANFFY, A., 1969, *apud* SOUZA, 2012).

Conforme citam Schwartz e Raslan (2013), os PSDE são utilizados para prever o consumo de energia e de concessão de créditos de desempenho energético de sistemas de certificação de sustentabilidade em edificações. Com o objetivo de avaliar os resultados de desempenho gerados por três PSDE – TAS, *EnergyPlus* e IES – os autores realizaram um estudo de um caso projeto real. Foram analisadas as cargas previstas em cada uma das ferramentas e a influência que os resultados de desempenho tiveram sobre as classificações dos selos verdes LEED e BREEM. A investigação identificou diferenças nos valores de consumo de energia resultantes dos dois simuladores, mas que teve um efeito pequeno nos créditos de desempenho energético dos selos. Assim mesmo, pelas diferenças entre as certificações, os níveis de classificação para cada um deles foi consideravelmente díspar.

Os estudos baseados em simulação envolvem uma natureza complexa de saídas (*outputs*) do processo, como a dimensão dos problemas e a incerteza sobre muitos fatores (variáveis ambientais, por exemplo). “Pesquisas futuras devem ser orientadas no sentido de melhorar a eficiência das técnicas de investigação e métodos de aproximação (...)” (NGUYEN, REITER E RIGO, 2014).

Como em outros tipos de experimentos, a simulação computacional de desempenho de edifícios pode ser afetada por incertezas. Um dos desafios mais complexos está na grande quantidade de variáveis climáticas a serem consideradas. Em alguns casos, uma abordagem simplificada precisa ser adotada, com a utilização de uma variável discreta, alternada entre três arquivos climáticos, correspondentes a um ano de frio extremo, calor extremo e mediano.

Outra insegurança pode estar na mensuração da geometria do edifício ou nos ganhos internos de calor (RODRÍGUEZ, *et al.*, 2013).

Para utilizar a simulação computacional como instrumento de avaliação do desempenho térmico de edificações, o usuário, pesquisador ou profissional técnico, deve conhecer os valores dos parâmetros de entrada do processo. Principalmente considerando que o relevante é resolver as equações corretas de maneira suficientemente precisa, e não resolver as equações erradas de maneira acertada (HENSEN, 2004). Corroborando com esta afirmação, cita-se Rodríguez, *et al* (2013), que expõem que “A qualidade dos resultados depende principalmente da qualidade do modelo térmico e dos dados de entrada”. Significa dizer que o conhecimento do usuário sobre o programa e os dados neles inseridos pode ser mais crucial para a acurácia do resultado do que o *software* empregado. Yezioro, Dong e Leite (2008) orientam para que o usuário selecione o PSDE para seu estudo avaliando a sua precisão e confiabilidade, assim como considerando os dados de entrada disponíveis.

Ainda assim, apesar da existência de grande número de programas de avaliação e otimização de edificações, permanecem muitos obstáculos, como a usabilidade, a flexibilidade e a eficiência. Estas limitações podem inibir parcialmente a propagação do uso destas ferramentas na prática do projeto (NGUYEN, REITER E RIGO, 2014).

3 JOINVILLE/SC

Joinville está localizada na região sul do Brasil, estado de Santa Catarina, em latitude sul 26°18'05'' e longitude oeste 48°50'38''. O município se estende por uma área de 1.134,03 km² – maior cidade do estado – altitude média da sede de 4,5 m do nível do mar. Grande parte de sua economia figura na indústria, principalmente nos setores metalomecânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico, sendo o 3º polo industrial da região sul do país (FATMA, 2003).

3.1 Breve histórico

Oficialmente a história da cidade começa em 9 de março de 1851, com a chegada dos primeiros imigrantes europeus para colonização da então Colônia Dona Francisca. Este nome remonta ao contrato assinado em mil oitocentos e quarenta e nove entre a Sociedade Colonizadora de Hamburgo e os príncipes François Ferdinand d'Orléans (filho do rei da França e Príncipe de Joinville) e Dona Francisca de Bragança (irmã do imperador D. Pedro II). No entanto, vestígios de sambaquis e artefatos provam que comunidades de caçadores já ocupavam a região há cerca de cinco mil anos. Relatos também indicam que famílias de origem portuguesa se estabeleceram na região do Cubatão, Bucarein, Boa Vista e Itaum no século XVIII. “A diversidade étnica foi uma característica do processo colonizador de Joinville. À população luso-brasileira e negra juntaram-se, sobretudo, os germânicos (...), franceses e italianos” (CUNHA, 1951 *apud* JOINVILLE, 2011).

Com a inauguração da Estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande, que passava por Joinville, no início do século XX, avanços foram sentidos no desenvolvimento da cidade. Aliado a este fato tem-se o surgimento da energia elétrica, dos automóveis, do telefone e do sistema de transporte coletivo. Houve um grande avanço no crescimento do município entre 1950 e 1980. Este fato advém da rápida transformação da cidade em polo industrial devido ao Brasil deixar de receber produtos industrializados europeus. Com isso vários imigrantes, vindos de diversas partes do país, buscaram em Joinville uma melhor condição de vida e miscigenando a cultura da cidade (CUNHA, 1951 *apud* JOINVILLE, 2011).

3.2 Climatologia da região

Segundo Nimer (1989), o clima da região sul do Brasil é caracterizado por sua homogeneidade no que se refere à pluviometria e à umidade. O clima mesotérmico do tipo temperado é predominante nos estados do sul, tendo Joinville clima temperado subquente e superúmido. O autor ressalta que “o balizamento da Região Sul nas latitudes médias na borda do Oceano Atlântico confere à posição um papel muito importante no condicionamento climático desta Região”. A faixa litorânea em toda extensão oriental acentua o processo de evaporação e, a partir daí a condensação ou formação de nuvens.

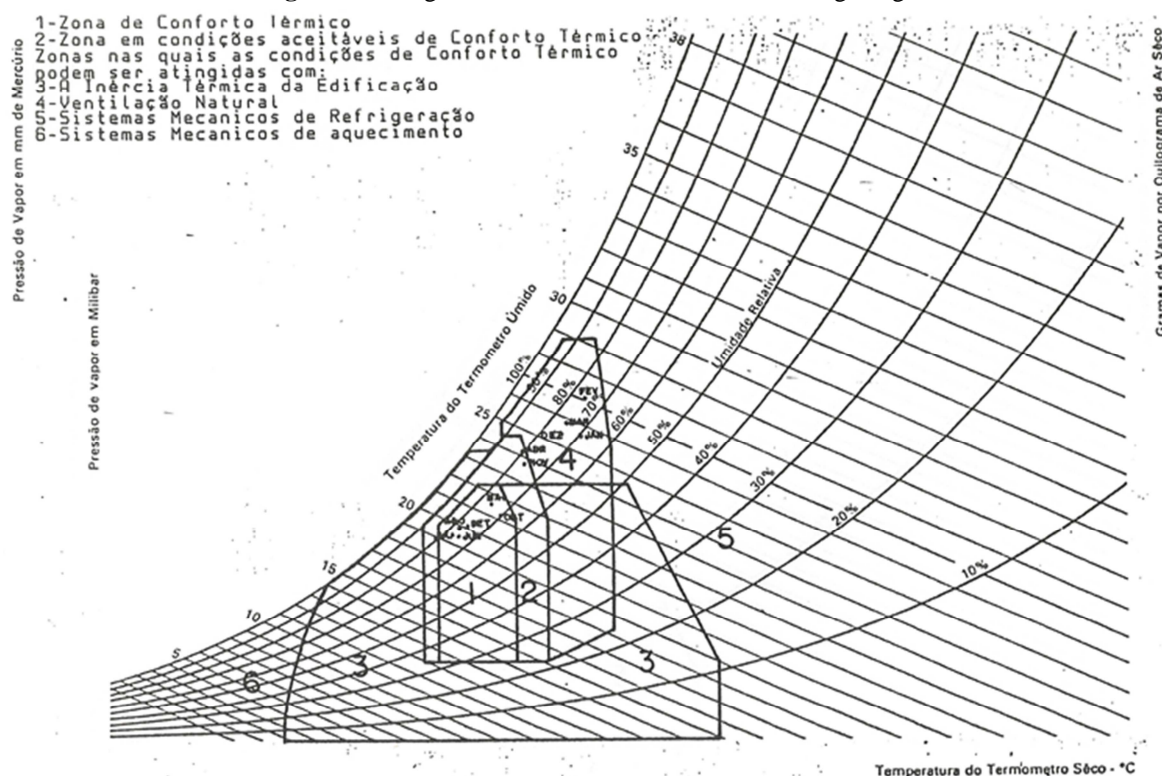
Baías e enseadas são partes características do relevo desde o norte do Paraná até Laguna, em Santa Catarina, faixa onde se localiza a cidade em estudo. A oeste da zona litorânea de Santa Catarina vê-se pequenas serras inter-fluviais (Nimer, 1989).

Com relação à precipitação pluviométrica, esta é a região do país com os menores desvios anuais, comparáveis somente com os verificados na Amazônia. Nimer (1989) expõe que o regime de chuvas bem distribuídas ao longo do ano concede à região certo grau de umidade, sendo “(...) uma das regiões do mundo mais bem regadas por chuvas”.

Por sua posição mais afastada da Linha do Equador, as temperaturas da região são mais influenciadas pela marcha zenital do sol. A inclinação dos raios solares no verão é muito pequena. Mas, é praticamente exclusiva do relevo a definição da distribuição geográfica das temperaturas durante o verão. No inverno são bastante perceptíveis as frentes polares, que trazem queda de temperatura e chuvas. Mesmo assim, o litoral do Paraná e de Santa Catarina não apresenta média de térmica abaixo de 15°C para o mês de julho (mês mais frio da Região Sul). No litoral do Paraná e de Santa Catarina o clima é considerado subquente, onde a diferença das condições térmicas de inverno e verão é menos importante devido a ação moderadora exercida pela influência do mar (NIMER, 1989).

Um dos estudos de referência a respeito do clima de Joinville é o de Hackenberg (1992), onde a autora elabora uma análise climática da região com base nos dados das séries históricas coletadas por algumas estações meteorológicas então existentes na cidade. Através desses dados a autora elabora a carta psicrométrica de Koenigsberger para cidade (figura 10). Com base nos dados e na carta ela verifica que “existe a condição de conforto térmico durante a noite nos meses de janeiro a março, durante o dia nos meses de maio a setembro e na média diária nos meses de março a abril e outubro a dezembro”.

Figura 10: Diagrama bioclimático baseado em Koenigsberger



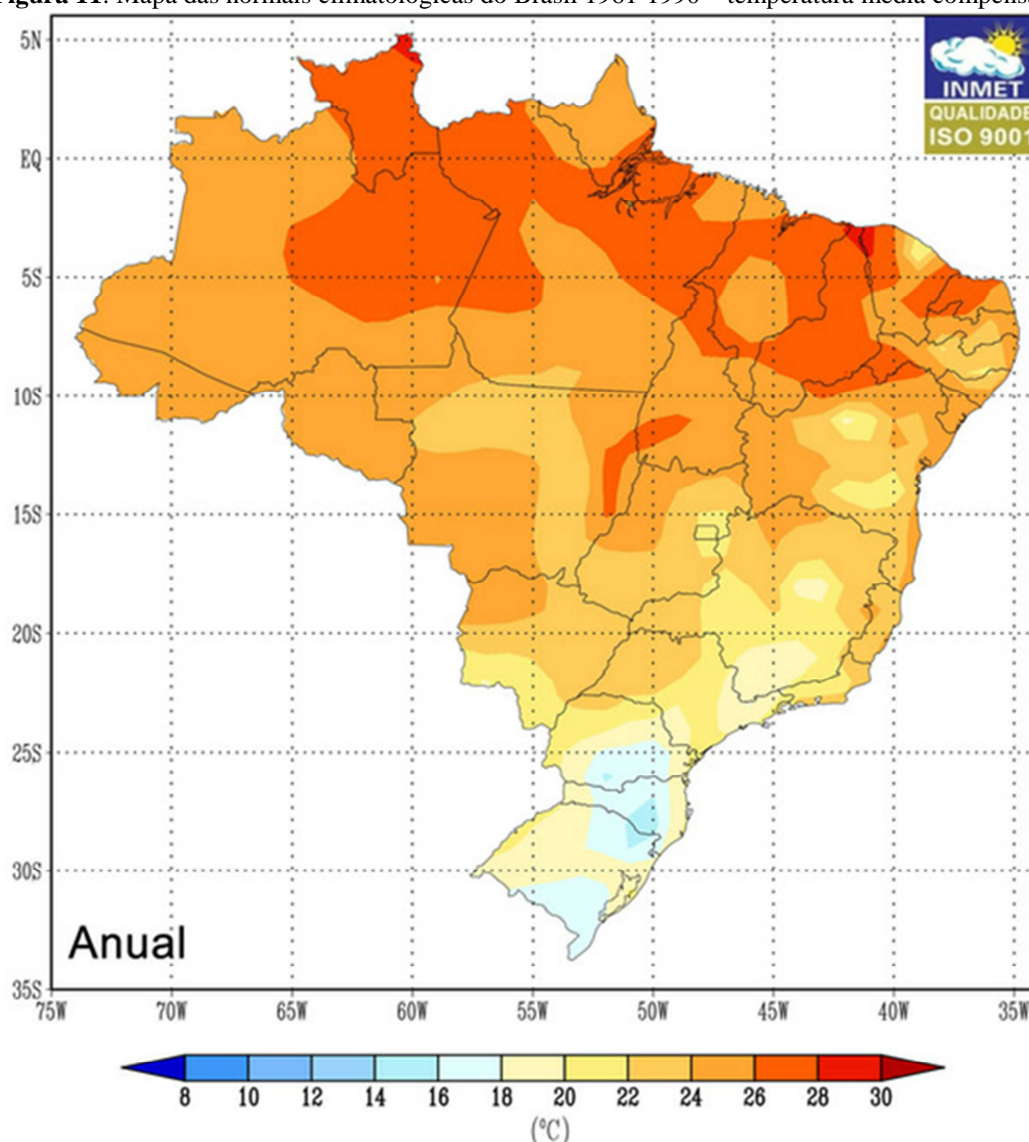
Fonte: Hackenberg (1992)

Em suas conclusões Hackenberg (1992) enfatiza a influência da Serra do Mar no clima da cidade, perceptível na velocidade menor do vento matutino que sopra do continente (em todas as estações meteorológicas). A autora constatou também velocidades menores dos ventos na região sul, pela presença de elevações. Essas elevações, juntamente com a vegetação e as massas de água da Lagoa de Saguau e da Baía da Babitonga, influenciam o clima urbano da cidade.

Devido à proximidade com a Serra do Mar, foi percebida uma amplitude térmica maior na região da Estação da Fundação 25 de Julho, com a ocorrência das maiores e menores temperaturas, além de índices maiores de umidade relativa. As temperaturas também sofrem interferências pela ocupação urbana, percebida pela análise dos dados coletados na área central. Destaca-se que “foram identificadas cinco condições climáticas diferentes na cidade, bem caracterizadas pelas estações utilizadas para as observações” (HACKENBERG, 1992).

Além das informações compiladas por Hackenberg (1992), o Instituto Nacional de Meteorologia disponibiliza os mapas das normais climatológicas do Brasil (1961-1990), anual e mês-a-mês. Estes são divididos em temperaturas mínimas, médias (figura 11) e máximas, precipitação acumulada, insolação total, nebulosidade, umidade relativa do ar e evaporação total (INMET, 2012).

Figura 11: Mapa das normais climatológicas do Brasil 1961-1990 – temperatura média compensada



Fonte: INMET (2012)

Desde 1996, a Universidade da Região de Joinville (Univille) faz a leitura dos dados meteorológicos da região em sua estação. Os dados disponíveis são os de precipitação, temperatura e umidade relativa, que são lidos em três horários específicos - 9h, 15h e 21h - conforme recomendações técnicas da Organização Meteorológica Mundial (OMM) (UNIVILLE, 2009).

3.3 Conforto térmico em Joinville

Encontram-se na literatura poucos estudos sobre as questões térmicas nos ambientes construídos em Joinville. Destes pode-se citar aqui a investigação realizada por Batiz *et al.* (2009), a respeito da avaliação do conforto térmico em salas de aula artificialmente

condicionadas e sua relação com o aprendizado. Através da aplicação de um questionário elaborado a partir da teoria de Batiz e Goedert (2006, *apud* BATIZ *et al.*, 2009) e comparado aos índices PMV de Fanger, chegando a uma coincidência superior a 90% . Também foram realizadas medições da temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa e temperatura de globo. Nas avaliações dos cinco dias pesquisados, os resultados dos questionários demonstraram uma média de satisfação com o ambiente térmico de 64,8% dos entrevistados. Somado a isso, constataram que uma insatisfação com relação à velocidade do ar.

Outro estudo identificou alguns dos elementos arquitetônicos presentes nas edificações da cidade que podem contribuir para o conforto térmico dos usuários. Foi verificado o uso de elementos vazados, toldos, bandeiras nas aberturas, varandas, beirais largos, vegetação e brises (WERSDOERFER, 2006). A pesquisa demonstra o uso de elementos preconizados na arquitetura bioclimática, mas não faz alusão à motivação da utilização desses, que pode vir a ser por questões de conforto térmico ou apenas estéticas.

Lopes (2009) investigou o desempenho térmico de unidades habitacionais de um conjunto habitacional multifamiliar de interesse social em uso, edificada em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e localizada em Joinville. O estudo foi realizado através da medição da temperatura do ar por *dataloggers* em dois cômodos (quarto e sala) das unidades habitacionais e do seu exterior. Como complemento foi realizada uma pesquisa com os usuários a respeito da percepção do desempenho térmico do ambiente construído. Foi avaliada uma unidade habitacional localizada no último pavimento de um dos edifícios do conjunto, com fachadas norte e oeste e outra com fachadas leste e sul do primeiro pavimento de outro bloco. O monitoramento das informações climáticas se deu entre os meses de setembro de 2008 e junho de 2009.

O resultado dos questionários mostra que 45% dos entrevistados estavam insatisfeitos com as temperaturas no inverno e 38% sentiam insatisfação com as temperaturas internas no verão. O autor concluiu que, para o caso investigado, houve uma diferença significativa no desempenho térmico das duas unidades avaliadas, sendo que o apartamento térreo apresentou menos oscilação de temperatura. A amplitude térmica das moradias ficou entre 19% e 42% da amplitude média diária externa, verificadas nas semanas quentes e frias, sendo maior no apartamento do último pavimento. Segundo a pesquisa, a orientação das fachadas e o posicionamento dos apartamentos (térreo ou cobertura) revela a radiação como provável fator da diferença de desempenho entre as unidades (LOPES, 2009).

A investigação mais aprofundada relacionada ao tema tendo como cenário a localidade e o clima de Joinville foi a elaborada por Hackenberg (2000). A autora realizou uma pesquisa

de campo em duas regiões distintas do país, Joinville e o interior do estado de São Paulo (Jundiaí, Campinas, Paulínia e Hortolândia).

No caso de Joinville, os dados foram coletados entre 13 e 24 de julho de 1998 (períodos de inverno) e entre 15 e 27 de janeiro de 1999 (período de verão). As informações climáticas utilizadas foram medidas pela estação meteorológica do Campus Universitário da cidade, distante 2 km das edificações industriais estudadas, e foram comparadas às séries históricas compiladas em 1992 pela mesma autora. Foram realizadas medições *in loco* e aplicados questionários aos usuários dos ambientes das empresas. Das informações recolhidas constam dados como idade, altura, peso, vestimenta e atividade metabólica da população analisada, conforme a metodologia da norma ISO 7730 (HACKENBERG, 2000).

Segundo Hackenberg (2000), o índice PMV na empresa em Joinville, naturalmente ventilada, variou no inverno entre conforto e leve desconforto e no verão teve o pior desempenho no período vespertino. Nos ambientes condicionados artificialmente, tanto no inverno como no verão, foi percebida a influência da temperatura radiante média e da umidade relativa do ar nas respostas dos trabalhadores. A autora conclui seu trabalho afirmando que “A identificação das preferências térmicas do morador brasileiro de diferentes regiões e o uso dos meios passivos para obtenção de conforto nas edificações melhoraria a qualidade de vida nos ambientes construídos”.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Para alcançar o objetivo proposto nesta pesquisa este capítulo esclarece a estratégia adotada e as etapas em que essa se divide.

4.1 Definição da estratégia de pesquisa

A composição de uma pesquisa pode ser de natureza fixa ou flexível. No caso deste estudo, cuja teoria e os procedimentos já estão bem desenvolvidos, a estrutura fixa é a utilizada. Além disso, a seleção da estratégia de pesquisa é que irá guiar o investigador nos procedimentos necessários à coleta de informações e análise dos dados, demonstrando a confiabilidade das descobertas (ROBSON, 2002).

Conforme Robson (2002), no caso de se buscar a confirmação de conhecimentos estabelecidos, o uso de estratégias experimentais é uma solução frequente. Então, para alcançar o objetivo e verificar a hipótese deste estudo, a simulação computacional foi a ferramenta selecionada, confirmando esta pesquisa como experimental. Este instrumento permite medir comportamentos físicos das edificações através de modelos, com a inserção de variáveis e a definição de parâmetros.

Esta estratégia de pesquisa dividiu-se em duas fases:

- 1ª fase: Descritiva – Revisão bibliográfica;
- 2ª fase: Explanatória – Simulações.

4.1.1 Unidade de análise

A unidade de análise desta pesquisa são as estratégias passivas de condicionamento para conforto térmico em edificações definidas pela carta bioclimática de Givoni, conforme Goulart *et al.* (1994), e pela NBR 15220-3/03.

4.1.2 Delimitação do trabalho

O objeto de estudo aqui proposto refere-se às estratégias bioclimáticas de condicionamento para conforto térmico em edificações residenciais unifamiliares. Esta tipologia foi definida por ser a delimitação da NBR 15220-3/03 e por haver diversos estudos relacionados às residências deste formato e padrão. A cidade de Joinville foi definida como

demarcação geográfica e as conclusões da pesquisa não obrigatoriamente se aplicam a outras localidades.

4.1.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo

Para Yin (2010), a resposta para algumas perguntas podem dizer a respeito da estratégia de pesquisa. Questões que iniciam com “como” e “por que” podem referir-se a uma pesquisa histórica, um estudo de caso ou a um experimento. Para delimitação do método tem-se a verificação da abrangência do controle que o pesquisador tem sobre os eventos comportamentais e o acesso aos mesmos. Neste trabalho, a manipulação das variáveis que influenciam o desempenho térmico será fundamental para alcançar o objetivo, caracterizando por tanto, conforme o citado autor, um estudo experimental.

Robson (2002) afirma que “se o foco está nos resultados, um projeto fixo é provavelmente o indicado (...)”. O autor complementa que em pesquisas fixas quase sempre tem-se dados em forma de números, ou seja, é comum tratar-se de uma estratégia quantitativa. Nestes casos, duas metodologias são reconhecidas, a experimental e a não experimental.

A investigação experimental tem como característica central a participação ativa e deliberada do pesquisador na alteração da situação com o objetivo de produzir uma mudança no comportamento do fenômeno. Esta atitude é realizada a partir da experiência dos participantes e refere-se a manipulação de uma ou outra variável. Um exemplo desta estratégia é submeter amostras à diferentes condições experimentais ou planejar a alteração de uma ou mais variáveis (ROBSON, 2002).

4.1.4 Testes de Validade

Tendo que um projeto de pesquisa é um conjunto lógico de proposições que deve ter credibilidade, pode-se julgar sua qualidade através de testes lógicos. Os mais comumente usados destes testes são a validade do constructo, a validade interna, a validade externa e a confiabilidade (YIN, 2010).

Para verificar a validade do constructo Robson (2002) sugere o seguinte questionamento: consigo medir, arbitrar, inferir o que está proposto da maneira que está proposto? Yin (2010) destaca como táticas para essa validação o uso de múltiplas fontes de evidência e seu encadeamento. Sendo assim este estudo foi realizado por meio de simulação computacional, a partir de dados de várias fontes.

Para confirmar a validade do constructo da estratégia desta pesquisa cita-se aqui outros estudos relacionados ao tema. Souza, Amparo e Gomes (2011) realizaram uma avaliação do desempenho térmico de uma edificação unifamiliar projetada em *light steel frame* em Belo Horizonte, considerando a ventilação e o efeito da inércia térmica do solo. Para determinar o comportamento térmico da edificação, os autores utilizaram a simulação computacional como estratégia de pesquisa. A conclusão foi que a inércia térmica do solo só tem efeitos positivos para melhora no conforto térmico por calor quando aliada à ventilação natural e ao sombreamento. Outra investigação que também utilizou da simulação computacional foi realizada por Haase e Amato (2009), para avaliar o potencial da orientação solar e da ventilação natural para os climas de Singapura, Beijing e Hong Kong.

Pode-se citar também a Norma brasileira NBR 15575/08 que indica a simulação e como um dos procedimentos para avaliação das habitações com relação ao desempenho térmico (ABNT, 2008). Para avaliar os métodos propostos pela NBR 15575/08 (na época do estudo, ainda em fase de discussão), Giglio e Barbosa (2006) fazem uso da simulação computacional e do método das horas de desconforto. Os investigadores concluíram que a simulação computacional permite análise ao longo de um ano inteiro e o uso de ferramentas mais detalhadas, como o *EnergyPlus*, podem contribuir para a obtenção de resultados mais precisos.

Já a validade interna é, segundo Yin (2010), “a busca do estabelecimento da relação causal pela qual se acredita que determinadas condições levem a outras condições, diferenciadas das relações espúrias”. Neste trabalho, a hipótese será testada e, se confirmada, será possível estabelecer a causalidade das condições térmicas da unidade habitacional, pela alteração das características construtivas aplicadas ao modelo.

A validade externa diz respeito à generalização das descobertas. No caso de pesquisas de levantamento essa generalização é estatística, enquanto que em estudos de caso a generalização é analítica (YIN, 2010). Esta proposta de pesquisa não visa o estabelecimento de uma generalização de resultados, por focalizar casos específicos influenciados por agentes naturais (insolação, vento, etc), mas sim expandir e generalizar teorias.

Robson (2002) afirma que a validade, de forma realista, diz respeito à significância dos resultados, que não devem estar influenciados por erros do participante ou do observador ou pelo viés do participante ou do observador. Ao fato de não conter estas influências o autor denomina a confiabilidade. Yin (2010) coloca a confiabilidade como capacidade de reprodução do procedimento, tornando as etapas do processo as mais operacionais possíveis e relatá-las. Como forma de superar esta imperfeição, usa-se o Protocolo de Coleta de Dados.

4.2 Protocolo de coleta de dados

Este item refere-se à condução proposta para esta investigação, de forma a orientar o pesquisador na obtenção dos resultados. O protocolo divide-se em três fases distintas: decisória, construtiva e redacional.

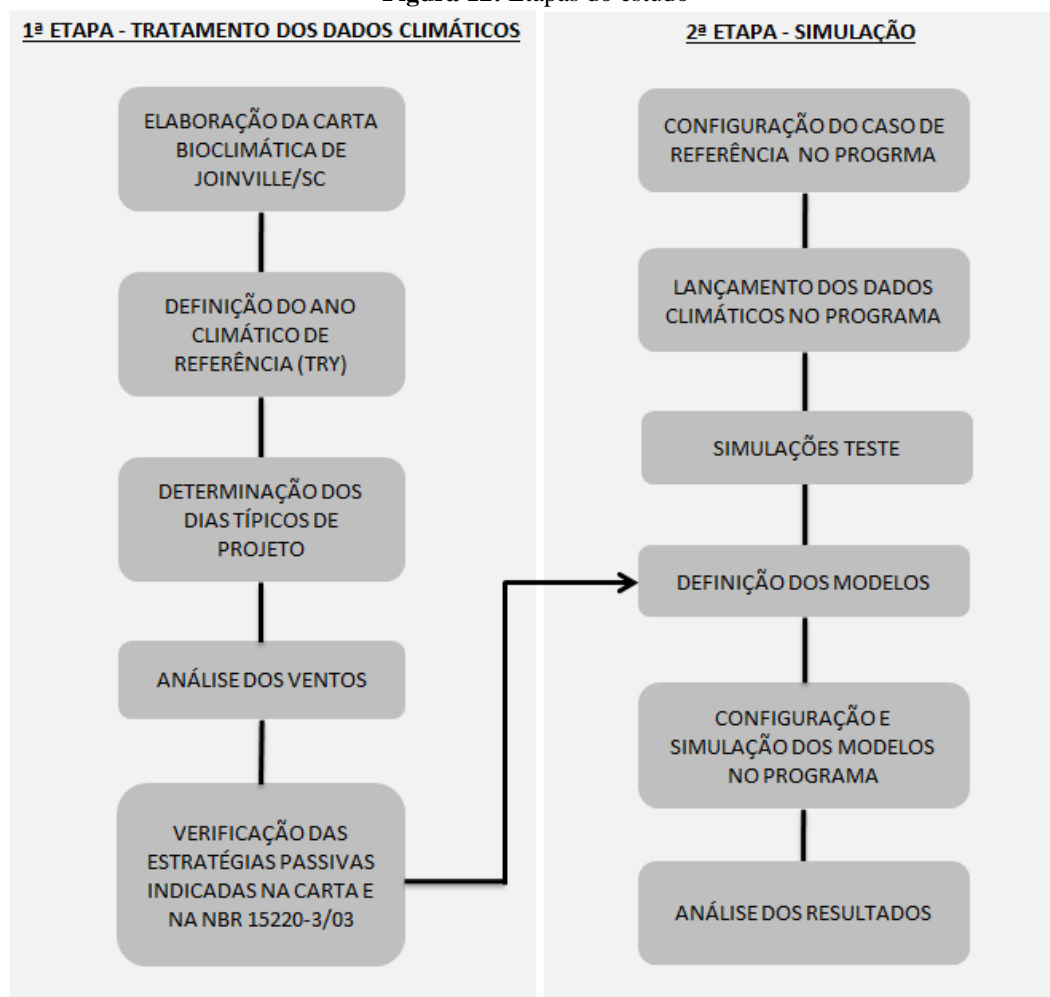
A primeira fase, decisória, contemplou o estudo da teoria, do estado de arte do assunto abordado. Através da revisão da literatura compreendeu-se de maneira mais aprofundada o clima e a geografia da localidade estudada, assim como as premissas de projeto para clima quente e úmido. Neste momento foram coletados os dados climáticos de Joinville, que serviram de base à investigação.

A fase construtiva diz respeito à execução da pesquisa propriamente dita. Para alcançar o objetivo traçado, esta fase dividiu-se em duas etapas:

1. Tratamento dos dados climáticos:
 - Elaboração da carta bioclimática de Joinville/SC;
 - Definição do ano climático de referência (TRY);
 - Determinação dos dias típicos de projeto;
 - Análise dos ventos;
 - Verificação das estratégias passivas de condicionamento térmico indicadas na carta bioclimática e na NBR 15220-3/03.
2. Simulação:
 - Configuração do caso de referência no MESTRE;
 - Lançamento dos dados climáticos no MESTRE;
 - Realização das simulações testes;
 - Definição dos modelos a serem simulados;
 - Configuração e simulação dos modelos definidos;
 - Análise dos resultados.

Conforme mencionado, na etapa de simulação foram realizados experimentos testes. Nestas simulações alterou-se um elemento por vez, em configurações diferentes (cobertura, parede externa, parede interna, vidro, veneziana, orientação, ventilação e pé-direito). Desta maneira foi possível verificar o efeito da alteração de fatores controláveis do processo de forma individual. A partir destes testes formou-se o conjunto de fatores de cada modelo a ser investigado.

A Figura 12 mostra um esquema detalhado da fase construtiva.

Figura 12: Etapas do estudo

Fonte: Primária (2013)

4.2.1 Seleção do caso ou amostra

As amostras podem caracterizar-se por probabilísticas ou não probabilísticas. Neste trabalho foi selecionado um caso de referência de característica não probabilística, pois o critério foi a tipologia construtiva de interesse para o estudo e não discernimentos estatísticos.

O modelo de referência para as simulações segue a tipologia mencionada na NBR 15220/08: habitações unifamiliares de interesse social. O projeto residencial R1-B, selecionado para o estudo, foi usado como base para o cálculo do custo unitário básico (CUB) para residência popular da NBR 12721/2006 (SINDUSCON-MG, 2006). Além disso, representa uma tipologia habitacional recorrente na localidade em estudo.

Outro aspecto relevante a ser considerado para escolha do modelo de referência é o atendimento às indicações da NBR 15575/08 quanto à avaliação do desempenho térmico da unidade habitacional (UH). Segundo a referida norma, a UH deve possuir pelo menos um

dormitório ou sala com duas paredes em contato com o ar externo e ter as orientações das mesmas conforme segue:

- Para dia típico de verão (DTV): janela orientada para oeste e a outra parede exposta para o norte;
- Para dia típico de inverno (DTI): janela voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste.

Dentre os projetos padrões utilizados para o cálculo do CUB, o R1-B é o que melhor possibilitou o atendimento destes requisitos.

4.2.2 Simulação computacional

A simulação computacional é o experimento virtual de uma realidade e, como tal, pode ser definido como uma série de testes onde são alterados dados de entrada de um processo ou sistema. Este controle permite observar os efeitos das alterações de certas variáveis através dos dados de resposta. Então, o experimento é uma forma de avaliar o desempenho de um sistema, mensurar a sua qualidade. As características de qualidade são aquelas exigidas ou importantes para a excelência do produto/sistema (MONTGOMERY, 2000).

No caso deste estudo, estas características foram definidas no objetivo e na hipótese e dizem respeito ao conforto térmico dos usuários em edificações residenciais, dentro dos limites estabelecidos por Givoni (1992) e pela NBR 15575/08.

Segundo Ribeiro e Caten (2000), para construção de um projeto de experimento têm-se os seguintes elementos:

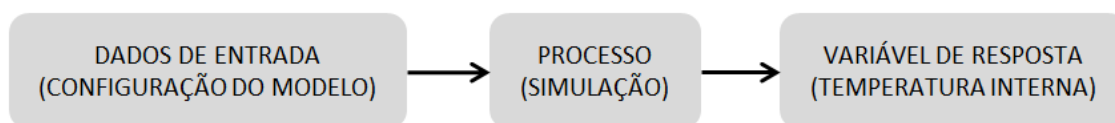
- Variável de resposta (ou variável dependente): é a variável característica que é medida em um experimento. É aquela que definirá a resposta sobre as variáveis que influenciam um processo. Na simulação são os dados de saída (*outputs*) das temperaturas internas dos ambientes.
- Fatores (parâmetros do processo): todas as variáveis do processo, que influenciam o resultado/produto e que podem ser controladas ou não. Os fatores que não podem ser identificados ou mensurados são chamados de ruídos. Os fatores controláveis deste estudo são os sistemas e materiais construtivos, a orientação solar, e o controle das aberturas.
- Tratamento: é a condição imposta cujo efeito se deseja estudar, conhecer. Os níveis de um desses tratamentos ou a combinação de duas ou mais variáveis também é

uma tratamento. Neste trabalho foram criados modelos com diferentes composições construtivas e que foram testados em diferentes combinações de controle de aberturas.

- **Dados:** são os valores em um experimento. Os dados de entrada (*inputs*) utilizados aqui são todos os relacionados à geometria do edifício, às propriedades dos materiais empregados em cada modelo e aos dados climáticos da localidade. Os dados de saída, ou resposta, são as temperaturas dos ambientes internos.
- **Unidade experimental (ou parcela):** é o material experimental, em que será feito o tratamento e que fornecerá os dados para análise, ou seja, são os objetos de estudo. Podem ser grupos ou indivíduos. Para esta investigação foi definida uma unidade habitacional unifamiliar, conforme objetivo e hipótese.
- **Níveis:** para cada fator delineado no experimento são definidos níveis de mensuração. Com a alteração de nível é possível verificar a significância ou não do fator no resultado, assim como o melhor nível a ser usado para obter melhor resultado com baixo custo. Os níveis deste estudo dizem respeito às estratégias passivas de condicionamento térmico – inércia térmica e ventilação.
- **Repetição:** quantidade de vezes que um tratamento é realizado. É realizado para que se conheça a variância aleatória, ou erro, aumentando assim a confiabilidade do experimento. A definição do número de repetições algumas vezes depende dos recursos disponíveis para realização do experimento.

A Figura 13 mostra resumidamente a sequência descrita acima, para melhor entendimento do experimento.

Figura 13: Sequência da simulação



Fonte: Primária (2013)

4.2.2.1 Processo de simulação no MESTRE

Conforme mencionado no item 2.4, algumas questões devem ser avaliadas para seleção do PSDE. Nguyen, Reiter e Rigo (2014) ressaltam a importância de conhecer a capacidade de simulação do programa, e que este seja selecionado conforme o tempo, os recursos, o orçamento disponível e o objetivo do projeto. Soma-se aqui ainda a afirmação de

Hensen (2004), que coloca: “A garantia da qualidade é um elemento muito importante em qualquer tarefa de simulação. E, obviamente, envolve o uso de *software* verificado e validado”. O citado autor apresenta como exemplo uma iniciativa importante nesta área, chamada de BESTEST.

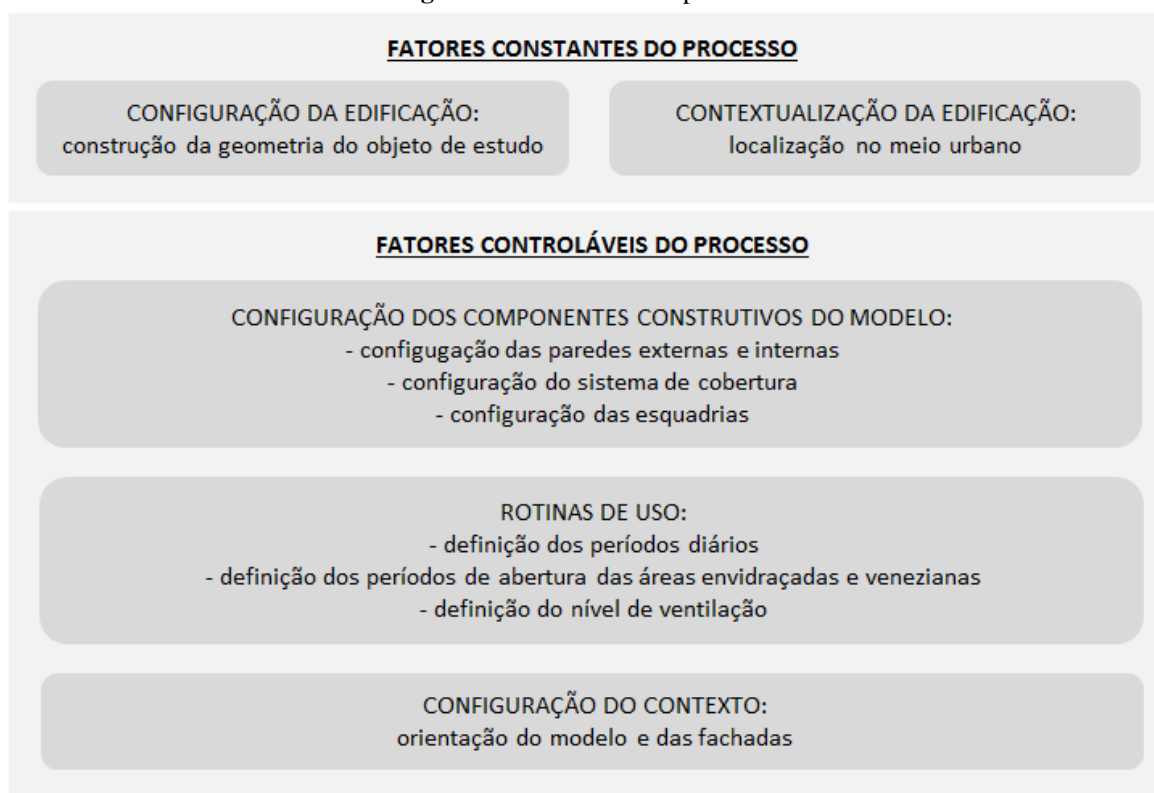
Perante estas considerações, o programa utilizado neste estudo foi o MESTRE (Mestre *Building Simulation System*), em sua versão 2012. O programa permite simular o desempenho térmico, acústico e lumínico de edificações. O sistema usa linguagem Java e os dados são inseridos em arquivo texto, extensão .obj. O *software* conta também com uma interface gráfica que permite a visualização do modelo, que facilita a conferência da geometria inserida no arquivo.

O PSDE MESTRE foi validado conforme a rotina de testes exigidos para sistemas de múltiplas zonas sem fluxo de ar do *Building Energy Simulation Tool Bestest and Diagnostic Method* da Agência Internacional de Energia (IEA), em 2011, (SCHMID e GRAF, 2011).

A sequência a ser seguida para simulação no MESTRE está listada a seguir:

1. Definição do contexto geográfico da edificação: ângulo em relação ao azimute, latitude, longitude e altitude;
2. Construção da geometria do edifício;
3. Definição das zonas térmicas;
4. Definição dos materiais e propriedades dos mesmos;
5. Inserção dos arquivos climáticos da localidade;
6. Definição das rotinas.

Os parâmetros do processo, fatores constantes e controláveis, constam na Figura 14.

Figura 14: Parâmetros do processo

Fonte: Primária (2013)

A configuração dos componentes construtivos baseou-se no estudo da literatura e nos sistemas construtivos mais comuns para edificações residenciais de padrão popular na localidade. Várias composições de paredes e coberturas dos modelos constam no anexo D da NBR 15220-3/03.

Primeiramente foram simulados dois níveis de configuração de temperatura, um para o dia típico de verão e outro para o dia típico de inverno. Foram também definidos padrões de ocupação e níveis de ventilação. Em uma segunda etapa foram simulados os modelos e configurações citadas para o ano todo. Assim, no total foram simuladas 19 rodadas.

Para melhor definição dos modelos – configurações construtivas e orientação – algumas rodadas preliminares foram realizadas. O resultado destas simulações mostraram quais as alterações geram um efeito mais relevante para o desempenho térmico da UH. Para isso foi analisada a variável de resposta do programa – temperatura interna – e verificada a significância dos resultados.

4.3 Método de análise dos dados

Segundo Yin (2010), a análise de dados pode consistir em versar, classificar, categorizar ou em recombina as evidências encontradas. Como trata-se de uma tarefa particularmente difícil, deve-se começar por uma estratégia analítica geral através do estabelecimento de prioridades.

É importante refletir sobre como os dados de resposta serão analisados na fase do projeto de pesquisa. Isso porque deve-se saber se as variáveis de resposta realmente serão analisáveis e também de forma a simplificar o processo. Além disso é preciso conhecer a tipologia do exame da pesquisa. A análise de dados é comumente dividida em dois tipos: exploratória e confirmatória. Nesta investigação cabe uma análise confirmatória, pois esta procura confirmar uma hipótese (ROBSON, 2002).

Robson (2002) ressalta que, no caso de se utilizar um *software* para o trabalho de análise, deve-se ter o cuidado para que o formato de entrada dos dados seja o mesmo requerido pelo sistema e/ou não ocorrência de duplicidade dos mesmos. A escolha pelo programa de simulação MESTRE para esta investigação deu-se também devido à consideração feita por Robson (2002). A inserção dos dados no MESTRE é realizada através de um arquivo texto – extensão .obj – simples e de fácil compreensão.

Os principais focos do estudo de um edifício, sob o ponto de vista da Termodinâmica, são o ambiente interno e a envoltória. Isto porque o primeiro é onde ocorre a entrega e consumo do calor, e o segundo é a interface entre o interior e o exterior da edificação. Como estes aspectos afetam as temperaturas dos ambientes de uma edificação podem ser resolvidos em programas computacionais de simulação, por representações matemáticas de um conjunto de algoritmos (SOUZA, 2012). Corroborando com esta afirmação, tem-se Shearer (1971 *apud* SOUZA, 2012), que expressa:

Como resultado, o conhecimento envolvido na utilização de ferramentas simulação dinâmica, é sistemática e cientificamente baseado nas leis naturais da ciência. Ele reside no fato do comportamento térmico que a edificação desenvolve ao longo do tempo e pode ser quantificada através da utilização de representações matemáticas (SHEARER, 1971 *apud* SOUZA, 2012).

5 DADOS CLIMÁTICOS DE JOINVILLE/SC

Para realizar um estudo do desempenho térmico de edificações é necessária a obtenção dos dados climáticos da localidade específica que se deseja avaliar. Como já citado neste documento, as informações meteorológicas disponibilizadas ao público dizem respeito a um número limitado das cidades brasileiras. Além disso, quando estes dados existem e são disponibilizados, algumas vezes são incompletos e a acurácia é questionável.

O município de Joinville não consta da lista de zoneamento bioclimático da NBR 15220-03/03, assim como não aparece na revisão do zoneamento brasileiro elaborada por Roriz (2012). Sendo assim, buscou-se a obtenção destas informações junto a órgãos e instituições que mantêm estações meteorológicas na cidade.

Três estações em funcionamento foram encontradas na pesquisa. A primeira delas, pertencente ao Grupo RBS, foi logo descartada, pois não havia rigor nas medições e também não eram realizadas as calibrações recomendadas para os equipamentos. Já os dados gerados pela estação instalada no campus da Universidade da Região de Joinville (Univille), tem maior rigor, pois os equipamentos são mantidos em conveniado à Prefeitura Municipal de Joinville e são administrados pelo Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira. Essas informações são utilizadas por órgãos municipais e estaduais, como a Defesa Civil, e alguns são disponibilizados em forma de gráficos na página do comitê. Apesar disso, por tratar-se de uma estação manual, apenas três anotações diárias dos dados eram realizadas.

A terceira estação existente no município localiza-se no Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola, pertencente à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Trata-se de uma estação automática, com medições minuto a minuto de variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de ponto de orvalho, velocidade e direção do vento. Os dados fornecidos por estes equipamentos possuem uma boa acurácia, tanto por serem automatizados quanto pela importância destas informações para aviação. Sendo este o banco de dados climáticos mais completo do município, foi feita a solicitação do mesmo junto à INFRAERO.

Em resposta à solicitação, a INFRAERO informou que não cede gratuitamente estes conhecimentos, nem mesmo para fins científicos. Verificada a indisponibilidade do montante estipulado pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, tanto por parte dos pesquisadores quanto do Programa de Pós-graduação a qual esta pesquisa está vinculada, não foi realizada a aquisição dos dados da estação do Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola.

Sendo assim, foram solicitados os dados da estação de responsabilidade do Comitê Cubatão Cachoeira Joinville (CCJ), através da Univille. Apesar de estas informações serem normalmente comercializadas, a CCJ as cedeu de forma gratuita, por compreender tratar-se de uma pesquisa científica, de caráter público e socialmente relevante. Nos arquivos provisionados pela CCJ constam os dados de três medições diárias – às 9h, 15h e 21h – de temperatura do ar (TBS), umidade relativa do ar (UR), pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos. Estas medições foram feitas pela estação sinótica instalada no campus da Univille (26°15'09" S, 48°51'28" O, altitude 48 m). “Esta estação faz parte de uma parceria firmada com o Centro de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina (CLIMERH), Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ) e Faculdade de Engenharia de Joinville (FEJ)” (UNIVILLE, 2009).

No decorrer da pesquisa, após a elaboração da carta bioclimática, do tratamento dos dados citados e verificada a necessidade de informações de radiação para elaboração das simulações, encontrou-se informações mais completas dos anos de 2009 a meados de 2013. Este banco de dados encontra-se no sítio eletrônico do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA).

O principal objetivo do SONDA é a implementação de infraestrutura física e recursos humanos para o melhoramento da base de dados de superfície dos recursos de energia solar e eólica no Brasil. O projeto está vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As estações da rede são classificadas como solarimétricas e/ou anemométricas, sendo 13 estações próprias e 5 vinculadas à instituições parceiras (INPE, 2013).

As informações climatológicas disponibilizadas pelo INPE (2013), através da rede SONDA, para localidade de Joinville são coletadas pela estação solarimétrica situada no campus da Univille, através da parceria dessa universidade, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e do LEPTEN (Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia). Constam neste banco de dados as medições realizadas nos anos de 2009 a 2013, minuto a minuto, das seguintes variáveis:

- Radiação global horizontal – média da radiação global horizontal em Wm^{-2}
- Radiação difusa – média da radiação difusa em Wm^{-2}
- Radiação PAR – média da radiação fotossinteticamente ativa em $\mu\text{mols s}^{-1}\text{m}^{-2}$
- Iluminância – média da iluminância em kLux
- Temperatura do ar na superfície – temperatura do ar superficial em °C
- Umidade do ar – umidade relativa do ar em %
- Pressão atmosférica – pressão atmosférica em milibares

- Velocidade do vento a 10m – velocidade média do vento a 10m em ms^{-1}
- Direção do vento a 10m – direção média do vento a 10m de 0° a 360° (horário)

Assim, para melhor representar o clima de Joinville, foram utilizados nesta investigação duas bases de dados da estação da Univille, a fornecida pelo CCJ e a disponibilizada pelo SONDA.

5.1 Carta bioclimática de Joinville/SC

O desenvolvimento da carta bioclimática da localidade de Joinville seguiu o modelo proposto por Goulart, *et al.* (1994), conforme especifica a NBR 15220/03 – Desempenho térmico de edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. O diagrama foi elaborado com dados das médias mensais de temperatura, umidade e pressão atmosférica.

A base de dados utilizada para elaboração do diagrama foi a fornecida pela CCJ/Univille, por abranger um período de tempo maior do que a disponibilizada pela rede SONDA. Para as variáveis de temperatura e umidade tem-se um período de 16 anos de medições – 1996 a 2011 – e de 11 anos – setembro de 2000 a novembro de 2011 – para as anotações de pressão atmosférica (ver Anexo 2 e 3). Sendo assim, o diagrama bioclimático foi elaborado de 2001 a 2011 e os dados faltantes foram completados por interpolação.

5.1.1 Desenvolvimento da carta bioclimática de Joinville/SC

A partir dos dados citados foram calculadas, para o período de 2001 a 2011, as seguintes variáveis:

- Médias das temperaturas máximas mensais (T_{max}), em $^\circ\text{C}$;
- Médias das temperaturas mínimas mensais (T_{min}), em $^\circ\text{C}$;
- Médias das temperaturas mensais (T_{med}), em $^\circ\text{C}$;
- Médias de umidade relativa do ar (UR), em %;
- Médias de pressão atmosférica mensais (Pressão), em hPa.

Estes dados estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1: Médias mensais de Joinville de 2001 a 2011.

Mês	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)
Jan	34,80	20,70	26,30	79,08	1010
Fev	34,70	20,70	26,69	78,47	1011
Mar	35,70	21,00	26,71	79,17	1013
Abr	33,10	17,00	23,72	80,89	1015
Mai	30,70	14,00	21,30	80,15	1017
Jun	29,80	11,30	19,33	81,48	1019
Jul	29,20	9,60	18,06	81,45	1019
Ago	30,70	11,30	18,93	79,96	1018
Set	29,50	12,60	19,64	80,35	1017
Out	31,50	15,80	21,86	79,04	1013
Nov	33,30	17,30	23,65	77,08	1012
Dez	34,00	18,70	24,80	77,13	1011

Fonte: Primária (2013)

As análises das médias seguiram as indicações da NBR 15220/03 e foram plotadas sobre o diagrama bioclimático através do programa *Analysis Bio*, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina.

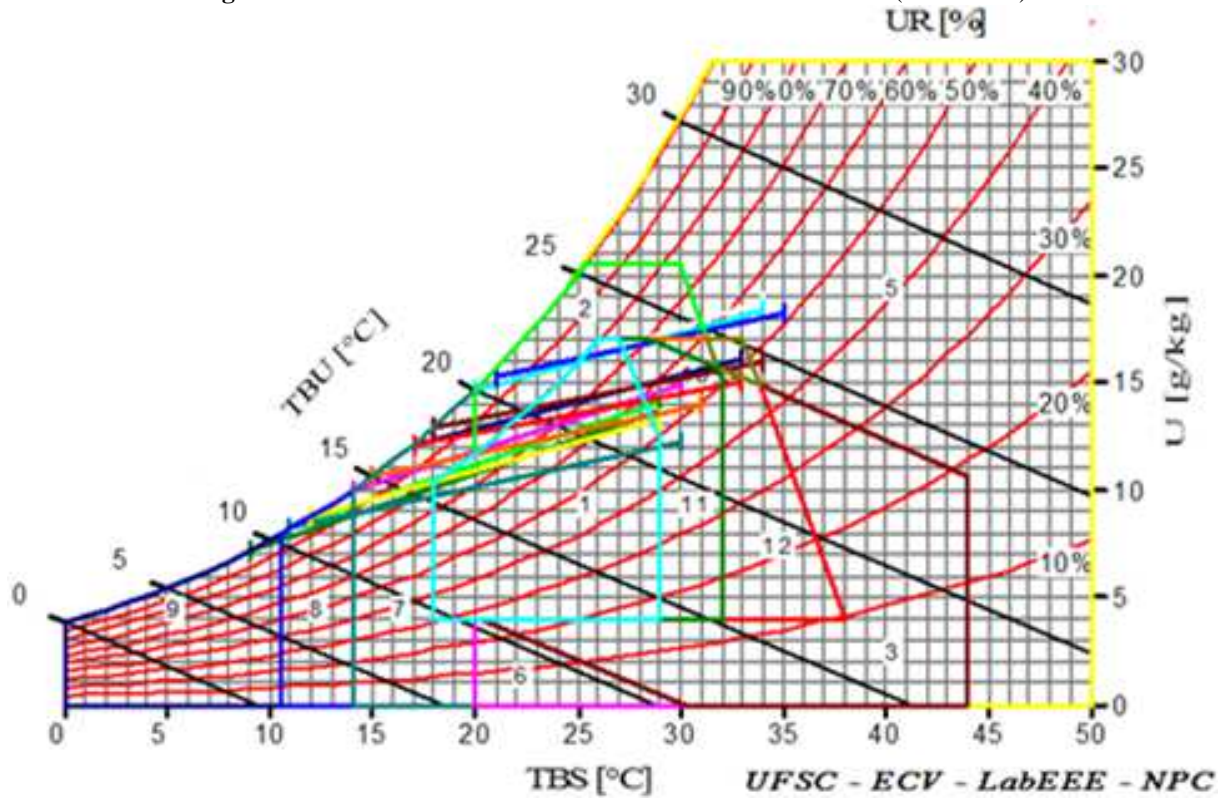
O procedimento foi elaborado conforme a norma citada para as Normais Climatológicas, que obedecem a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Os dados das Normais referem-se a períodos padronizados de 30 anos, sendo que no Brasil o primeiro a ser calculado para algumas cidades foi o de 1931 a 1960 (INMET, 2012). Para localidade em questão não há dados registrados para os períodos padronizados, assim esta análise foi realizada com base nos dados de 10 anos. Sabe-se que estes não seguem os padrões mundiais, mas refletem de forma mais precisa o clima da cidade, pois não se trata de um processo estatístico.

5.1.2 Apresentação e análise dos resultados

Plotados os dados das médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica sobre o diagrama psicrométrico, através do *software Analysis Bio*, obtiveram-se as estratégias bioclimáticas recomendadas para a localidade de Joinville. A carta mostra 12 linhas coloridas que representam a faixa das variáveis para cada mês do ano. A

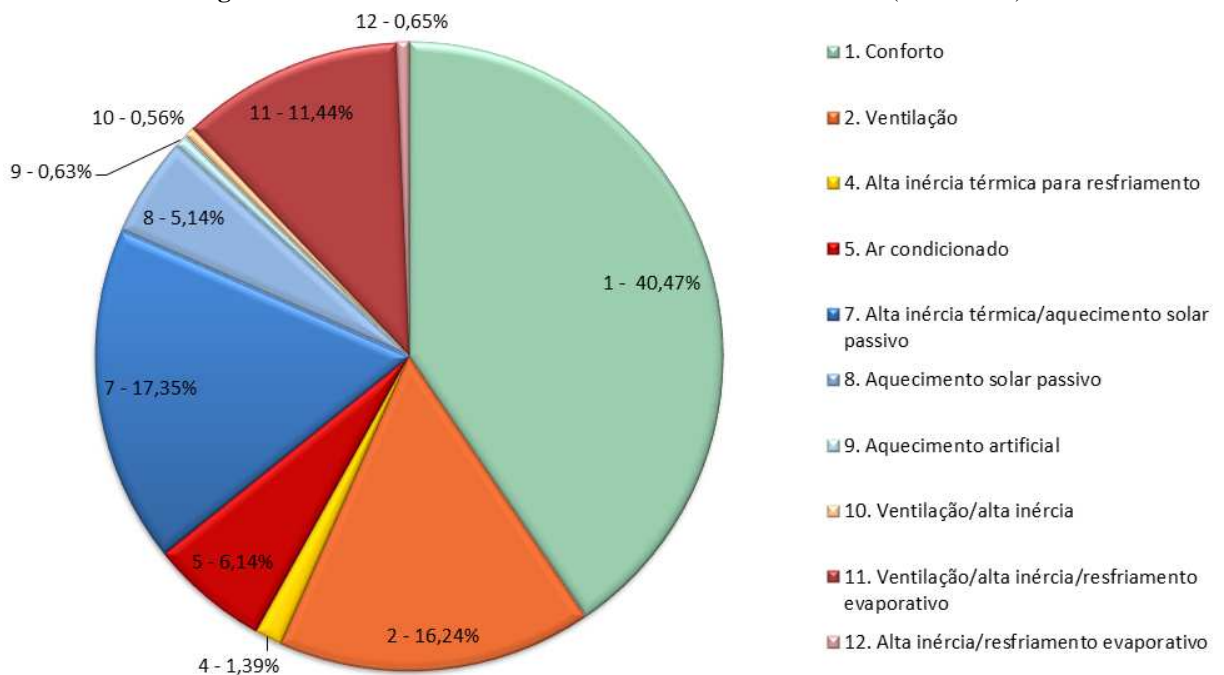
posição de cada linha sobre os polígonos do diagrama demonstram a porcentagem de períodos do mês para cada tática (Figura 15).

Figura 15: Zonas da carta bioclimática das Normais de Joinville (2001-2011)



Fonte: Primária, adaptado de LabEEE (2012)

Figura 16: Zonas da carta bioclimática das Normais de Joinville (2001-2011)



Fonte: Primária, adaptado de LabEEE (2012)

A plotagem dos dados na carta está resumida na figura 16 e demonstra uma porcentagem de 40,47% do ano na faixa de conforto. Neste período não há necessidade de nenhum tipo de artifício para conforto térmico do homem nos ambientes construídos. Também na análise anual, destaca-se a estratégia de se utilizar alta inércia térmica e aquecimento solar passivo, 17,35%. Esta ação aparece indicada em períodos de abril a dezembro. Em 16,24% do ano o uso da ventilação natural seria suficiente para manter o conforto térmico – novembro a maio – e, em apenas 6,14% do ano seria necessário o uso de resfriamento mecânico dos ambientes, sendo relevantes os períodos do 1º trimestre. A estratégia de ventilação natural, alta inércia e resfriamento evaporativo representa uma porcentagem anual de 11,44%, sendo indicada em períodos de todos os meses do ano. A tática de aquecimento solar passivo ocupa 5,14% do ano, nos meses de junho a setembro. As demais estratégias de projeto recomendadas para a localidade de Joinville são pouco expressivas e somam 3,23%, sendo que o uso de resfriamento evaporativo e umidificação não são sugeridos na carta. Estas áreas do diagrama – 3 e 6 (Figura 15) – não são atingidas, pois são estratégias para baixos índices de umidade relativa, o que demonstra concordância com médias desta variável para a cidade.

A carta bioclimática para Joinville demonstra que o clima é pouco homogêneo e tem estações bem definidas. O período de conforto anual preconizado no diagrama é significativo, mas sofre variação ao longo dos meses, sendo baixo no 1º trimestre do ano. De maio a outubro se tem os maiores índices de conforto. A necessidade de condicionamento mecânico é recomendada em apenas 6,77% dos períodos do ano.

Sendo assim, as estratégias de condicionamento passivo sobressaem quando se trata do conforto térmico para a localidade. Tem-se o uso de alta inércia térmica e ventilação como as estratégias passivas mais relevantes para o desempenho térmico das edificações em Joinville/SC, sendo que a primeira é recomendada num total de 31,39% do período anual e a segunda em 16,80%.

5.2 Ano climático de referência – TRY

Como verificado na revisão da literatura, para compreender o desempenho térmico da edificação ao longo de um ano inteiro, considerando assim as quatro estações, determina-se um Ano Climático de Referência (*Test Reference Year* – TRY). Como o nome sugere, o TRY é um ano representativo de uma localidade, correspondente às 8.760 horas de medições dos fatores climáticos.

Segundo Goulart (1993), o procedimento para encontrar o TRY foi desenvolvido pelo *National Climatic Center* e é baseado na eliminação de anos do período que contenham temperaturas médias mensais extremas.

Sendo assim, iniciou-se com a tabulação das temperaturas médias mensais dos anos medidos para Joinville. Como mencionado no item 4.1, nas planilhas fornecidas pelo CCJ constam três medições diárias de temperatura do ar, desde 1996 até 2011. A partir desta tabela foi elaborada a classificação e eliminação dos meses, iniciando pelo mais quente seguido do mais frio e assim por diante, conforme apresenta o Quadro 2. Os anos que aparecem na classificação são eliminados até sobrar um.

Quadro 2: Classificação dos meses mais quentes e mais frios

1ª Classificação							
Ordem	Mês	Tmed (°C)	Ano	Ordem	Mês	Tmed (°C)	Ano
1º	Março +Q	33,10	2000	13º	Março +F	23,80	1996
2º	Julho +F	14,00	2000	14º	Julho +Q	20,31	2006
3º	Fevereiro +Q	29,00	1997	15º	Fevereiro +F	24,50	1999
4º	Agosto +F	15,80	2000	16º	Agosto +Q	20,82	2005
5º	Janeiro +Q	28,23	2001	17º	Janeiro +F	24,00	1999
6º	Junho +F	16,60	1999	18º	Junho +Q	21,86	2001
7º	Abril +Q	27,15	2001	19º	Abril +F	19,38	2004
8º	Outubro +F	16,60	1996	20º	Outubro +Q	23,17	2002
9º	Novembro +Q	26,70	2009	21º	Novembro +F	20,60	1998
10º	Setembro +F	17,30	1999	22º	Setembro +Q	23,70	2000
11º	Dezembro +Q	26,67	2009	23º	Dezembro +F	23,18	2006
12º	Maio +F	18,40	1999	24º	Maio +Q	24,70	2004

Fonte: Primária (2013)

Na primeira classificação foram eliminados 11 dos 16 anos constantes da base de dados em questão. Como restavam ainda 5 períodos anuais que não apareceram na listagem (2003, 2007, 2008, 2010 e 2011), foi necessário realizar uma segunda classificação dos meses, exposta no Quadro 3.

Quadro 3: Segunda classificação dos meses mais quentes e frios

2ª Classificação							
Ordem	Mês	Tmed (°C)	Ano	Ordem	Mês	Tmed (°C)	Ano
1º	Março +Q	31,00	2002	13º	Março +F	24,27	2011
2º	Julho +F	15,30	1996	14º	Julho +Q	19,49	2008
3º	Fevereiro +Q	28,43	2001	15º	Fevereiro +F	25,30	1998
4º	Agosto +F	17,10	1996	16º	Agosto +Q	20,30	1998
5º	Janeiro +Q	27,57	2011	17º	Janeiro +F	24,80	2000
6º	Junho +F	17,71	2011	18º	Junho +Q	18,70	1998
7º	Dezembro +Q	26,30	1996	19º	Dezembro +F	23,40	1999
8º	Setembro +F	18,10	1998	20º	Setembro +Q	21,26	2007
9º	Abril +Q	25,50	1996	21º	Abril +F	21,30	1999
10º	Maior +F	19,43	2007	22º	Maior +Q	22,12	2002
11º	Novembro +Q	24,39	2002	23º	Novembro +F	22,52	2011
12º	Outubro +F	19,50	1999	24º	Outubro +Q	22,88	2007

Fonte: Primária (2013)

Após a segunda rodada de eliminação, ainda restaram os anos de 2003 e 2010. Por tanto, foi realizada uma última classificação, onde apareceu o ano de 2003 (Quadro 4).

Quadro 4: Terceira classificação dos meses mais quentes e mais frios

3ª Classificação			
Ordem	Mês	Tmed (°C)	Ano
1º	Março +Q	29,50	2001
2º	Julho +F	16,90	1996
3º	Fevereiro +Q	28,17	2003

Fonte: Primária (2013)

Assim, determinou-se 2010 como o Ano Climático de Referência para Joinville. Como citado anteriormente, o TRY refere-se às 8.760 horas do ano para as variáveis climáticas. Somente nas informações disponibilizadas pela rede SONDA constam as medições horárias para 2010. Ainda assim, existem lacunas nas informações. Isso ocorre tanto em alguns dias quanto nos meses de junho a agosto do referido ano.

Além disso, conforme o INPE (2013), vários fatores podem comprometer a confiabilidade dos dados medidos em campo por estações automáticas, como relâmpagos, acidentes envolvendo animais e erros nos equipamentos. Por esse motivo o SONDA realiza uma validação das informações antes da sua publicação. Esse controle de qualidade é feito conforme a estratégia adotada pela *Baseline Surface Radiation Network*. E, nos gráficos de

validação de 2010 aparecem índices elevados de dados suspeitos de erros, sendo que, neste processo não há correção de dados, os mesmos são apenas sinalizados.

Pela ausência de mais de 90 dias de medições e por conta da baixa confiabilidade das informações existentes nas planilhas referentes ao ano de 2010, deliberou-se a utilização de outro ano para a realização das análises deste estudo. O ano de 2011 foi definido como o TRY a ser utilizado, por ter sido eliminado apenas na segunda classificação (Quadro 3) e por estar entre aqueles cujos dados completos constam no SONDA. Corroborando com a decisão, tem-se o baixo índice de suspeita de erros para 2011, sendo que o maior deles varia entre 10% e 20%, para velocidade do vento. A ocorrência média de suspeita de erro para a radiação global está abaixo de 10% e para temperatura do ar é quase inexistente.

5.3 Dias típicos de projeto

A NBR 15575/08 recomenda que as simulações sejam realizadas para um dia típico de projeto de verão (DTV) e um dia típico de projeto de inverno (DTI). Entende-se que esses são dias representativos de cada uma das estações extremas, mas, na referida norma, não há explicação a respeito do procedimento para defini-los.

Conforme Goulart (1993), a metodologia de Sattler (1991a) para definição de dias típicos de projeto parece a mais adequada para aplicação em edificações. Isto porque os dados de entrada utilizados neste procedimento são as temperaturas médias, apresentando amplitude térmica dentro de uma faixa de ocorrência elevada. Sendo assim, no presente estudo, o método utilizado para definição dos dias típicos de projeto, para verão e inverno, para Joinville foi o de Sattler (1991a).

Para que os parâmetros desses dias sejam mais representativos, é preciso que as informações climatológicas abranjam um período razoável de medição. Por este motivo, foram utilizados para este procedimento os dados cedidos pelo CCJ, dos anos de 2001 a 2011, totalizando um período de 11 anos.

A metodologia citada foi iniciada anotando-se as temperaturas máximas (T_{max}) e mínimas (T_{min}) para cada um dos dias do período considerado. Nesta pesquisa, o número total de dias é de 3.984, que é a somatória de 11 anos excluídos aqueles dias em que não constam medições.

O próximo passo foi calcular a média (T_{med}) entre as T_{max} e as T_{min} anotadas. Os valores resultantes, e consequentemente os dias que esses representam, foram então ordenados de maneira crescente. Para a determinação do período quente foram selecionadas as 590

maiores Tmed, que equivalem a aproximadamente 15% do total de 3.984 dias. O mesmo ocorreu para os 590 menores valores, que representam a temporada fria.

Em seguida, com os dados horários disponíveis, realizou-se o cálculo das temperaturas médias para cada um dos 1180 dias selecionados anteriormente (590 do período quente mais 590 do período frio). As temperaturas médias diárias resultantes foram reordenadas e, dentre os dias constantes desta listagem, verificou-se a abrangência de cada um dos períodos, ou seja, as datas limites do ano com ocorrência das Tmed mais altas e mais baixas.

Na listagem dos dias quentes encontram-se praticamente todos os meses do ano, a exceção do mês de julho. Sendo assim, verificou-se que o período quente engloba todos os dias entre em 1º de janeiro e 16 de junho mais todos os dias entre 29 de agosto e 31 de dezembro, num total de 292 dias. O período encontrado para os dias frios vai de 12 de abril a 15 de novembro, totalizando 218 dias.

Como citado, os banco de dados aqui utilizado representa 11 anos de medições de temperatura. Por tanto, para o período quente tem-se um total de 3212 dias (292 x 11 anos) e, para o período frio tem-se um total de 2398 dias (218 x 11 anos). Destes totais são calculados os percentis que representam os níveis de ocorrência das altas e baixas temperaturas. Conforme Sattler (1991a), os níveis a serem avaliados são o de 2,5%, 5% e 10%. No caso do período quente, os percentis representam respectivamente 80, 161 e 321 dias. Já os coeficientes do período frio são representados por 60, 120 e 240 dias. Com isso se obteve três dias de referência para cada temporada, que são o 80º, o 161º e o 321º dia para o verão, e o 60º, o 120º e o 240º dia para o inverno (Quadros 5 e 6).

Conforme mostram os Quadro 5 e 6, os dias de referência são: 09/01/2011 (2,5%), 16/02/2010 (5,0%), 16/03/2003 (10,0%) – para os dias quentes – 31/07/2006 (2,5%), 11/10/2003 (5,0%) e 30/05/2008 (10,0%) – para os dias frios.

Foram então identificados, para cada coeficiente, os dias cujas temperaturas médias estavam contíguas às dos dias de referência, acima e abaixo, num intervalo de 1% do número de dias do conjunto. Assim, para verão foram contabilizados 16 dias acima, o dia de referência do nível correspondente, mais 16 dias abaixo (33 dias no total) e, para inverno, um total de 25 dias.

Quadro 5: Ordenação de dias quentes nas ocorrências de 2,5%, 5,0% e 10,0%

Dia	2,5%		Dia	5,0%		Dia	10,0%	
	TBS (°C)	Data		TBS (°C)	Data		TBS (°C)	Data
64°	30,3	06/04/2001	145°	29,3	26/01/2011	305°	28,3	22/01/2011
65°	30,3	16/06/2001	146°	29,3	27/01/2007	306°	28,3	20/02/2011
66°	30,3	20/12/2001	147°	29,3	02/01/2002	307°	28,3	02/03/2003
67°	30,3	14/03/2002	148°	29,3	27/01/2002	308°	28,3	04/03/2003
68°	30,3	12/03/2002	149°	29,3	04/02/2004	309°	28,3	31/12/2004
69°	30,3	11/03/2010	150°	29,3	15/01/2006	310°	28,3	08/01/2006
70°	30,3	04/02/2003	151°	29,3	09/03/2007	311°	28,3	31/01/2006
71°	30,2	09/01/2003	152°	29,3	30/11/2009	312°	28,3	04/03/2006
72°	30,2	27/02/2003	153°	29,2	09/01/2006	313°	28,3	20/02/2008
73°	30,2	14/01/2006	154°	29,2	30/12/2002	314°	28,3	08/02/2009
74°	30,1	01/02/2002	155°	29,2	18/03/2006	315°	28,2	21/01/2002
75°	30,1	09/02/2003	156°	29,2	18/12/2006	316°	28,2	02/03/2001
76°	30,1	02/03/2009	157°	29,2	07/03/2007	317°	28,2	17/02/2003
77°	30,1	12/03/2003	158°	29,2	27/03/2007	318°	28,2	15/03/2003
78°	30,1	03/02/2006	159°	29,2	31/03/2007	319°	28,2	21/03/2005
79°	30,1	28/03/2007	160°	29,2	01/03/2009	320°	28,2	02/03/2006
80°	30,1	09/01/2011	161°	29,2	16/02/2010	321°	28,2	16/03/2006
81°	30,0	26/02/2001	162°	29,2	21/02/2010	322°	28,2	01/12/2009
82°	30,0	13/03/2001	163°	29,1	30/11/2005	323°	28,2	20/12/2009
83°	30,0	05/03/2002	164°	29,1	06/02/2007	324°	28,2	30/01/2010
84°	30,0	25/02/2003	165°	29,1	15/12/2009	325°	28,1	23/11/2001
85°	30,0	01/02/2010	166°	29,1	02/01/2010	326°	28,1	23/02/2002
86°	30,0	28/01/2011	167°	29,1	12/03/2010	327°	28,1	01/12/2002
87°	29,9	11/03/2005	168°	29,1	01/02/2011	328°	28,1	25/04/2002
88°	29,9	18/01/2009	169°	29,1	02/02/2003	329°	28,1	17/01/2003
89°	29,9	17/01/2011	170°	29,1	19/12/2006	330°	28,1	08/12/2004
90°	29,8	06/01/2003	171°	29,1	24/03/2007	331°	28,1	25/02/2007
91°	29,8	18/11/2003	172°	29,1	29/03/2007	332°	28,1	04/01/2008
92°	29,8	16/12/2003	173°	29,1	28/12/2007	333°	28,1	22/02/2008
93°	29,7	04/03/2002	174°	29,1	13/03/2010	334°	28,1	06/02/2009
94°	29,7	23/03/2002	175°	29,1	04/03/2008	335°	28,1	26/11/2009
95°	29,7	10/03/2010	176°	29,0	25/01/2001	336°	28,1	23/12/2009
96°	29,7	04/02/2006	177°	29,0	29/01/2001	337°	28,1	23/01/2011

Fonte: Primária (2013)

Quadro 6: Ordenação de dias frios nas ocorrências de 2,5%, 5,0% e 10,0%

Dia	2,5%		Dia	5,0%		Dia	10,0%	
	TBS (°C)	Data		TBS (°C)	Data		TBS (°C)	Data
48°	13,6	29/07/2001	108°	14,8	23/08/2008	228°	16,2	24/05/2007
49°	13,6	27/07/2007	109°	14,8	30/06/2011	229°	16,2	01/08/2007
50°	13,6	07/07/2011	110°	14,9	19/07/2004	230°	16,2	23/07/2010
51°	13,7	12/07/2001	111°	14,9	01/06/2008	231°	16,2	22/07/2011
52°	13,7	23/07/2001	112°	14,9	22/06/2008	232°	16,2	17/07/2002
53°	13,7	14/09/2005	113°	14,9	04/06/2009	233°	16,2	13/06/2009
54°	13,7	16/07/2007	114°	14,9	26/08/2003	234°	16,3	30/07/2002
55°	13,7	17/07/2004	115°	14,9	10/09/2003	235°	16,3	04/07/2004
56°	13,8	05/09/2006	116°	14,9	13/09/2008	236°	16,3	16/09/2005
57°	13,8	06/09/2006	117°	14,9	17/07/2010	237°	16,3	22/05/2005
58°	13,8	03/06/2009	118°	14,9	24/07/2010	238°	16,3	25/05/2007
59°	13,9	14/06/2004	119°	14,9	04/08/2011	239°	16,3	05/06/2007
60°	13,9	31/07/2006	120°	15,0	11/10/2003	240°	16,3	30/05/2008
61°	14,0	02/09/2002	121°	15,0	23/05/2006	241°	16,3	25/06/2009
62°	14,0	10/08/2003	122°	15,0	30/07/2007	242°	16,3	26/06/2009
63°	14,0	09/08/2004	123°	15,1	01/09/2002	243°	16,3	15/08/2003
64°	14,0	22/05/2006	124°	15,1	21/07/2004	244°	16,3	27/08/2011
65°	14,1	05/08/2011	125°	15,1	04/09/2005	245°	16,3	25/06/2008
66°	14,1	12/09/2004	126°	15,1	28/06/2006	246°	16,3	26/05/2003
67°	14,1	08/08/2005	127°	15,1	29/06/2006	247°	16,3	07/08/2004
68°	14,1	29/05/2007	128°	15,1	27/06/2009	248°	16,3	26/08/2005
69°	14,1	26/07/2007	129°	15,1	08/06/2003	249°	16,3	08/08/2007
70°	14,1	14/09/2003	130°	15,1	02/08/2006	250°	16,3	13/08/2008
71°	14,1	29/08/2007	131°	15,1	27/06/2011	251°	16,3	07/08/2009
72°	14,2	15/06/2002	132°	15,2	22/08/2001	252°	16,3	23/06/2010

Fonte: Primária (2013)

Para obter os valores de TBS, UR, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos do dia típico de projeto realizou-se o cálculo da média dos dados disponíveis o intervalo acima mencionado. Nos Quadros 7 a 9 estão compilados os dados encontrados conforme essa sequência.

Quadro 7: Dias típicos para o nível de ocorrência de 2,5%

DIAS QUENTES					DIAS FRIOS				
Hora	TBS (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s – dir.)	Hora	TBS (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s – dir.)
9h	28,3	78	1011	0,6 E	9h	12,1	77	1025	0,7 E
15h	33,8	59	1008	2,2 E	15h	17,2	64	1022	0,9 E
21h	28,0	81	1010	0,7 E	21h	12,3	83	1024	0,2 E

Fonte: Primária (2013)

Quadro 8: Dias típicos para o nível de ocorrência de 5,0%

DIAS QUENTES					DIAS FRIOS				
Hora	TBS (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s – dir.)	Hora	TBS (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s – dir.)
9h	27,6	75	1012	0,5 N	9h	13,8	83	1025	0,5 N
15h	33,0	60	1008	1,6 N	15h	16,8	74	1021	0,8 N
21h	26,9	81	1011	0,6 N	21h	14,4	88	1023	0,4 N

Fonte: Primária (2013)

Quadro 9: Dias típicos para o nível de ocorrência de 10,0%

DIAS QUENTES					DIAS FRIOS				
Hora	TBS (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s – dir.)	Hora	TBS (°C)	UR (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s – dir.)
9h	26,6	79	1012	0,5 SE	9h	15,0	88	1022	0,4 SE
15h	31,5	61	1009	1,9 SE	15h	18,9	73	1020	1,3 SE
21h	26,1	85	1011	0,3 SE	21h	15,0	89	1021	0,3 SE

Fonte: Primária (2013)

Assim, conforme indica a NBR 15575/08, têm-se os três valores diários das variáveis climáticas dos dias típicos projeto de verão e inverno, para cada porcentagem de ocorrência, totalizando 6 conjuntos de dados.

Conforme citado no item 4.2 deste trabalho, o ano definido para as simulações foi 2011. O programa MESTRE executa as análises a partir dos dados horários inseridos no arquivo, tanto para o ano todo quanto para um dia específico. Como os dados diários acima exibidos contém apenas três valores, esses foram usados como referência para encontrar os dias típicos no ano de 2011. Sendo assim, a partir dos valores de TBS apontados no Quadro 8 (nível de ocorrência de 5,0%), foi definido como dia típico de verão o dia 05 de fevereiro e 08 de julho para dia típico de inverno, para o referido ano. Na análise dos valores de TBS de 2011 não houve concordância plena com os indicados no Quadro 8, sendo que a amplitude térmica diária entre a Tmax e a Tmin foi maior nas medições horárias. Por este fato, os dias mencionados foram selecionados por terem dois valores de TBS mais próximos aos de

referência no nível de 5%. No Quadro 10 estão indicadas as temperaturas horárias para os dias que foram simulados.

Quadro 10: Dias típicos de inverno e verão de 2011

DIA TÍPICO DE VERÃO 05/02/2011		DIA TÍPICO DE INVERNO 08/07/2011	
Hora	TBS (°C)	Hora	TBS (°C)
1	27,2	1	13,0
2	27,2	2	12,8
3	26,5	3	12,3
4	26,3	4	11,8
5	26,0	5	11,4
6	25,6	6	10,9
7	25,3	7	9,4
8	25,4	8	8,3
9	25,7	9	7,7
10	26,6	10	8,5
11	31,7	11	9,1
12	34,0	12	11,6
13	35,8	13	14,6
14	35,6	14	15,9
15	37,5	15	16,9
16	31,9	16	17,9
17	33,0	17	19,5
18	34,2	18	19,9
19	32,7	19	18,5
20	28,3	20	15,9
21	25,4	21	14,0
22	24,8	22	11,8
23	24,6	23	10,7
24	24,2	24	10,3

Fonte: Primária (2013)

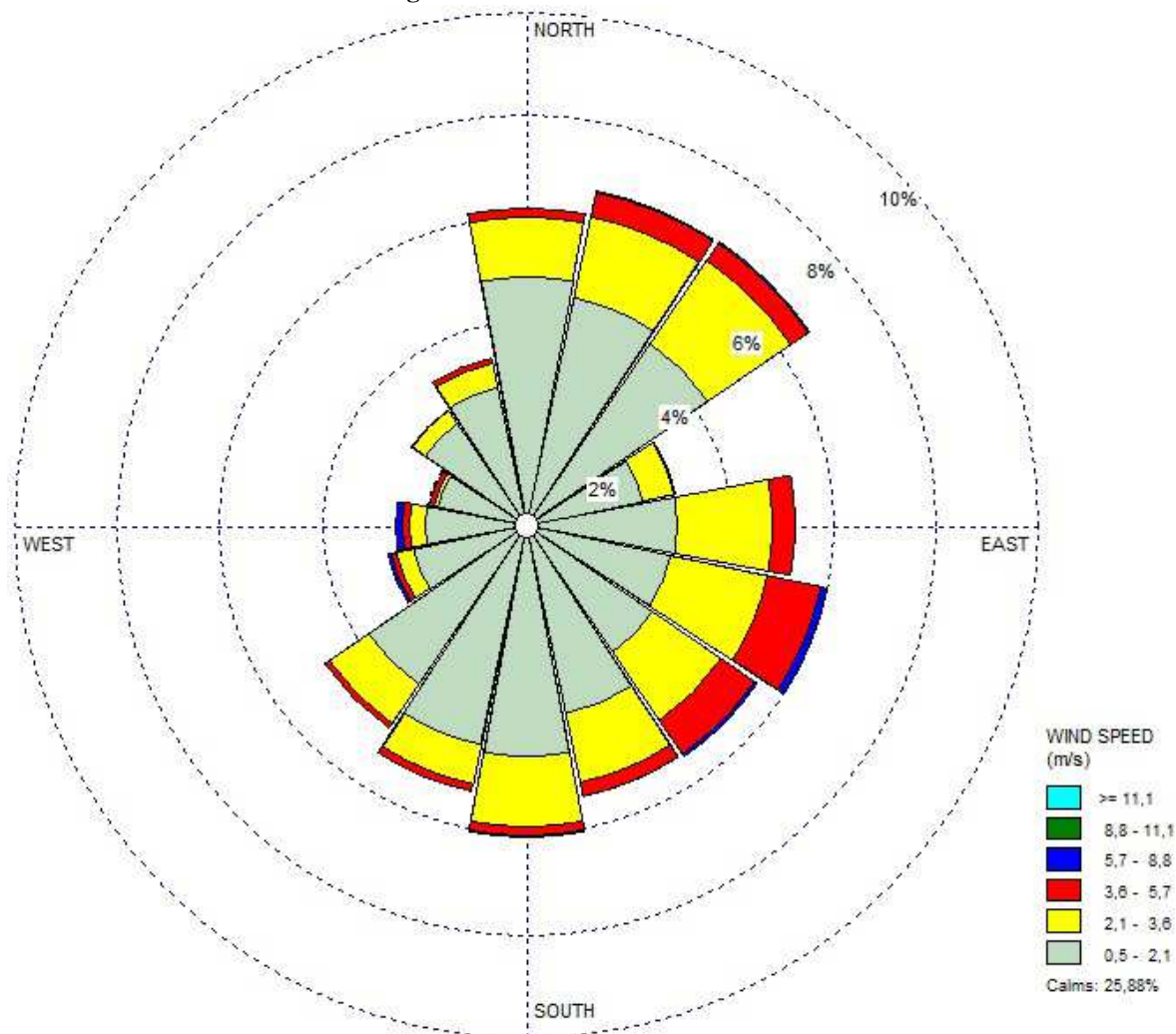
5.4 Ventos

Conforme verificado na revisão bibliográfica e na carta bioclimática de Joinville, a ventilação é uma das estratégias passivas para conforto térmico. Peña *et al.* (2008) ressalta a necessidade da verificação dos níveis de vento quando há a indicação desta tática bioclimática.

Sendo assim, foi realizado um estudo da frequência da direção e da velocidade dos ventos na localidade. Para isto foram elaboradas as Rosas dos Ventos de 2011, a partir dos dados constantes dos arquivos da rede SONDA. O desenvolvimento foi auxiliado pelo *software* WRPLOT ViewTM, disponibilizado gratuitamente no sítio eletrônico da empresa *Lakes Environmental* (LAKES ENVIRONMENTAL, 2014).

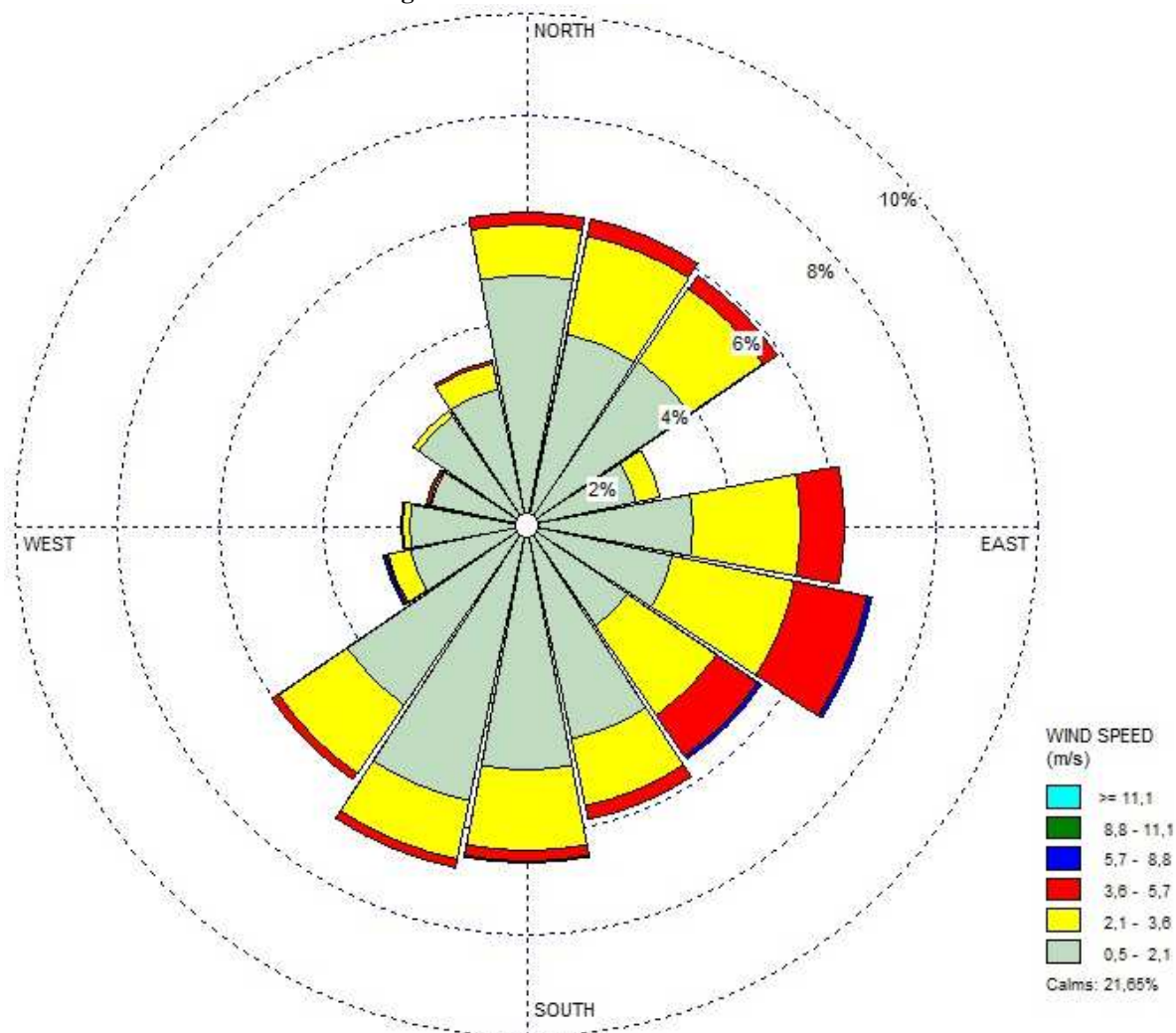
Os dados anuais foram plotados no programa, que gera a Rosa dos Ventos anual ou por datas definidas pelo usuário. Para facilitar a visualização e o estudo, foram plotados 3 gráficos, o anual e um para cada estação do ano (Figuras 17 a 21).

Figura 17: Rosa dos Ventos anual 2011



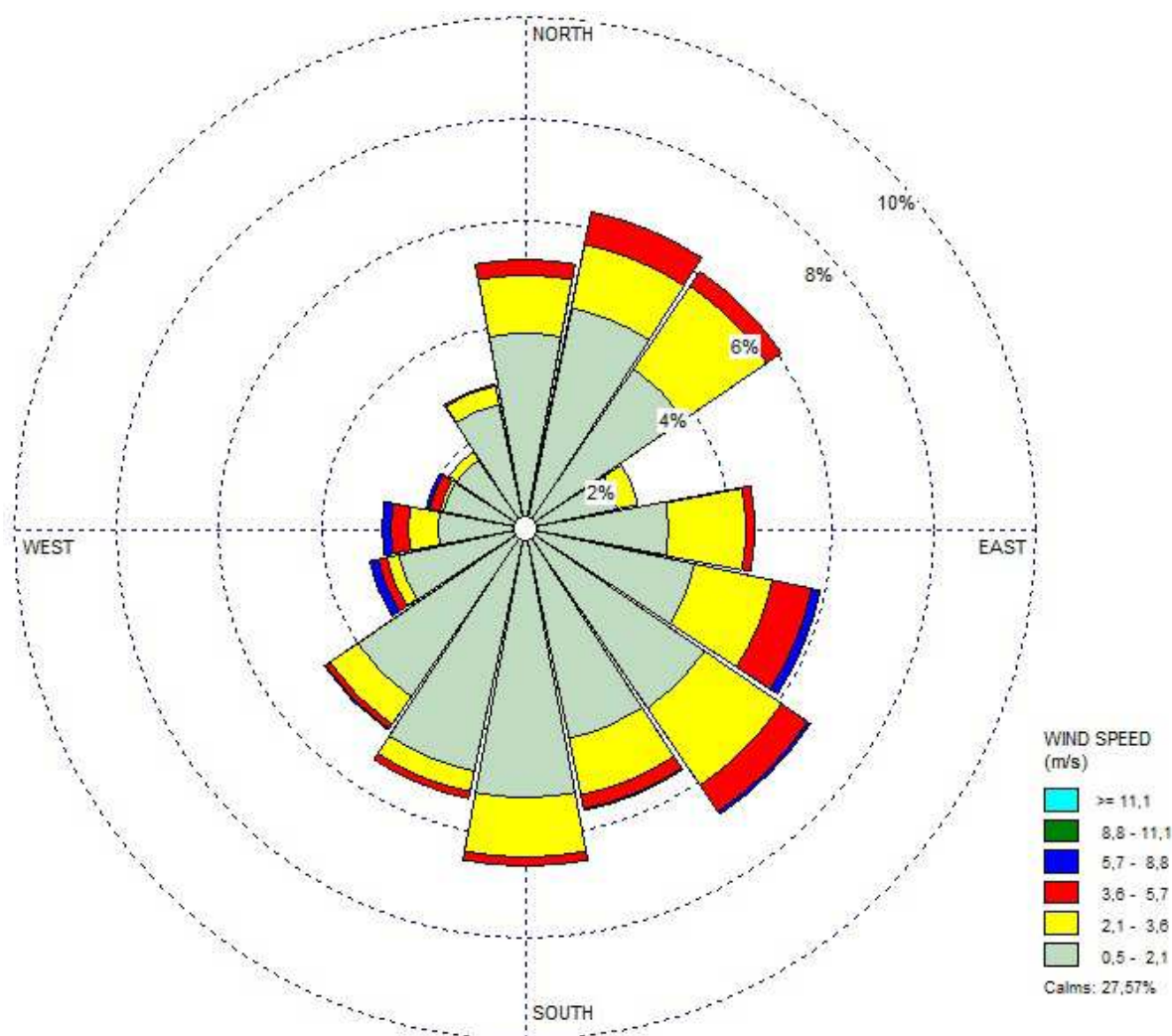
Fonte: Primária, adaptada de Lakes Environmental (2014)

Verifica-se na Figura 17 que a maior frequência dos ventos em 2011 foi nas direções Nor-nordeste (NNE) e Noroeste (NE), seguidas das direções Este-sudeste (ESE) e Sul (S). A velocidade dos ventos mais frequente fica entre 0,5 m/s e 2,1 m/s e o período anual de calmaria é de 25,88%.

Figura 18: Rosa dos Ventos verão 2011

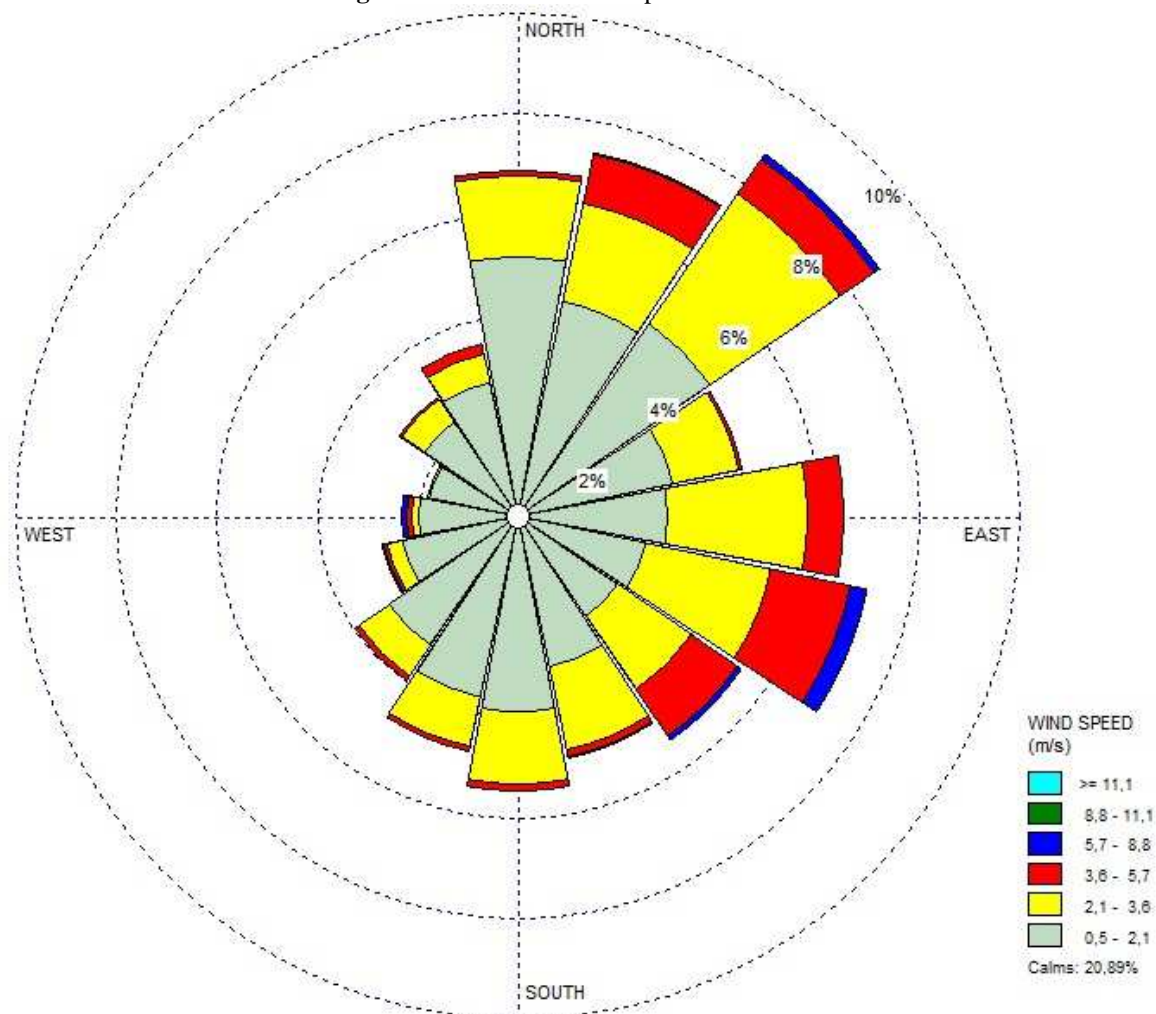
Fonte: Primária, adaptada de Lakes Environmental (2014)

No verão, predominaram as direções Este-sudeste (ESE) e Oeste-sudoeste (OSO), mantendo uma presença maior de 0,5 m/s a 2,1 m/s na velocidade dos ventos. O período de calmaria nesta estação foi de 21,65% (Figura 18).

Figura 19: Rosa dos Ventos inverno 2011

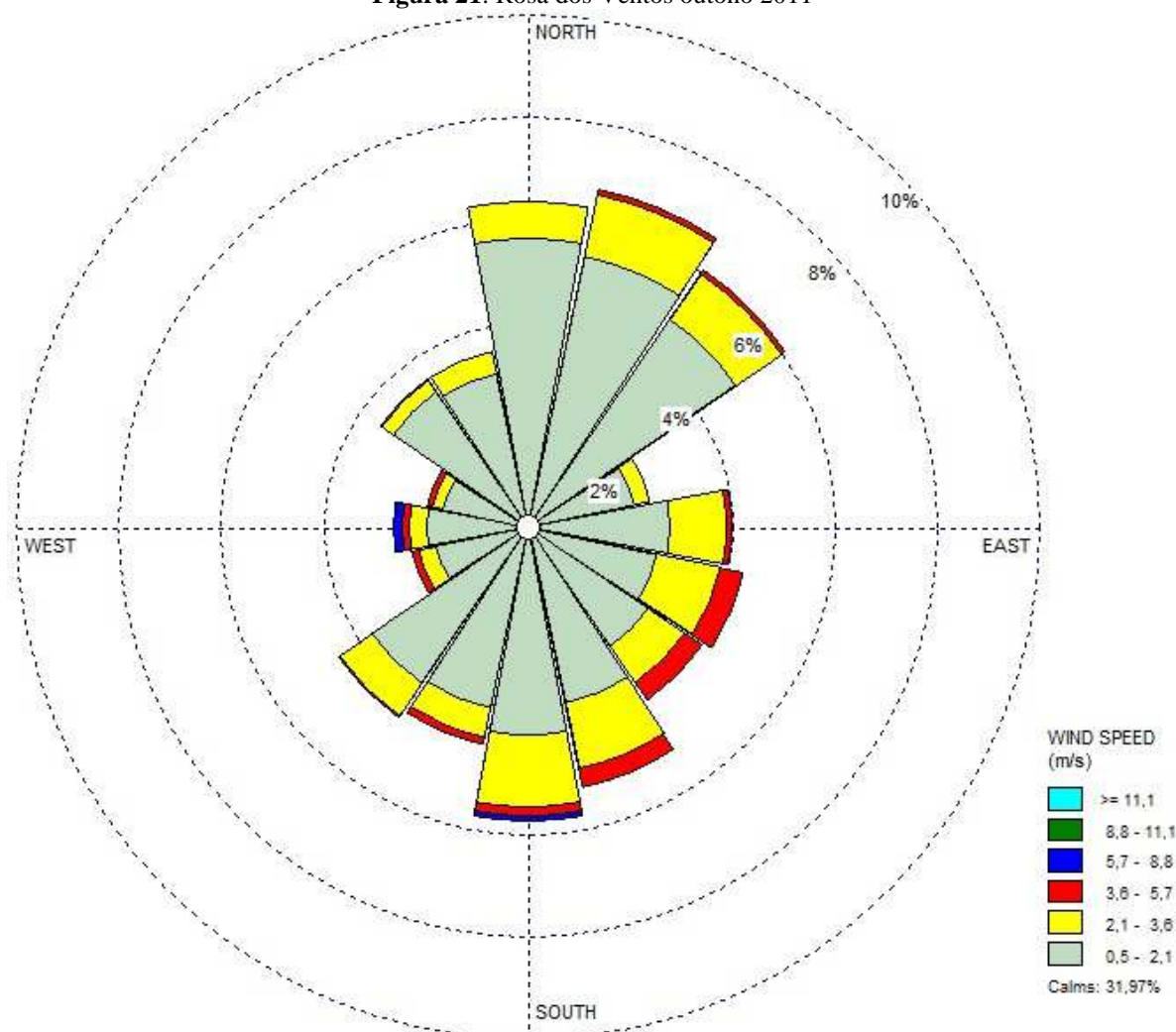
Fonte: Primária, adaptada de Lakes Environmental (2014)

A frequência da menor velocidade do vento também é significativa na estação fria, e a proporção de períodos de calma é a maior que a do verão (27,57%). As direções mais constantes no inverno são a Sul (S), a Sudeste (SE) e a Nor-nordeste (NNE) (Figura 19).

Figura 20: Rosa dos Ventos primavera 2011

Fonte: Primária, adaptada de Lakes Environmental (2014)

Na Figura 20 identifica-se que a direção Nordeste (NE) é a mais comum e com um índice de frequência bem maior que 8%. Também é relevante nesta estação a direção Este-sudeste (ESE). A velocidade dos ventos fica entre 0,5 m/s e 3,6 m/s e a calmaria chega a uma porcentagem de 20,89.

Figura 21: Rosa dos Ventos outono 2011

Fonte: Primária, adaptada de Lakes Environmental (2014)

O período de calmaria do outono é o maior em comparação com as demais estações (31,97%) e há uma grande predominância dos ventos com velocidade entre 0,5 m/s e 2,1 m/s. A direção mais comum para a estação é a Nor-nordeste (NNE), seguida da Norte (N), sendo relevantes também as direções Nordeste (NE) e Sul (S).

Verificou-se então uma predominância de ventos originários da orientação Leste, entre NNE e SSE, abrangendo também a origem Norte e o Sul. Isto pode ser explicado pela característica geográfica da cidade, que conta com a Baía da Babitonga à Leste e a Serra do Mar à Oeste. Somente no verão há incidência maior de vento nas faces Oeste, precisamente SSO e SO. Entre o Norte e o Oeste a incidência de ventos é mínima. Isto significa que edificações com fachadas e aberturas voltadas para NO são as que menos recebem ventilação, e as que mais recebem radiação no inverno, quando o sol está mais inclinado para o Norte. A análise destes gráficos impacta fortemente no projeto arquitetônico, pois indica o melhor

posicionamento das aberturas, além de orientar a volumetria e orientação das fachadas do edifício.

6 SIMULAÇÃO

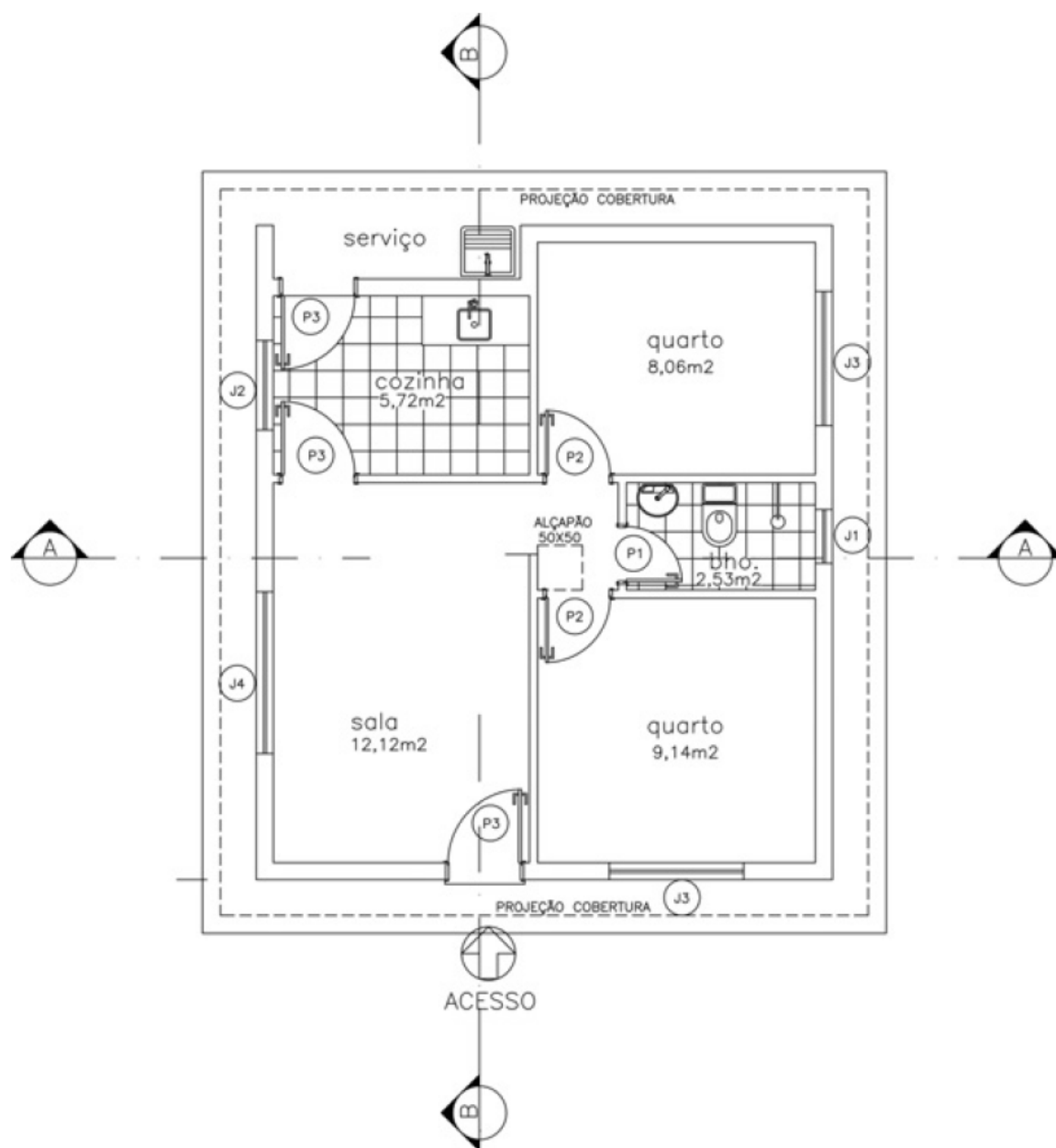
Para análise das estratégias de condicionamento térmico passivo determinadas na carta bioclimática e na NBR 15220-3/03, para Joinville, foram investigados 7 diferentes modelos da mesma unidade habitacional (UH). Na Tabela 9 estão resumidas as táticas que serão avaliadas.

Tabela 9: Estratégias bioclimáticas para Joinville/SC

Referência	Estratégia bioclimática
Carta bioclimática das normais para Joinville/SC	Alta inércia térmica
	Ventilação
NBR 15220-3/03 para ZB 5	Aberturas médias para ventilação
	Sombreamento das aberturas
	Vedação externa leve e refletora
	Cobertura leve e isolada
	Ventilação cruzada no verão
	Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: Primária, adaptada de ABNT NBR 15220-3 (2003)

O modelo de referência selecionado para o experimento segue a tipologia definida para a pesquisa – edificação residencial unifamiliar – e se baseia no projeto de residência popular padrão baixo (R1-B) descrito por Sinduscon-MG (2007), com algumas alterações na posição e dimensão das aberturas e nos materiais. O exemplar citado, que serviu de referência para determinação do custo unitário básico (CUB) da NBR 12721/06, é formado por 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque (Figura 22).

Figura 22: Planta projeto padrão R1-B

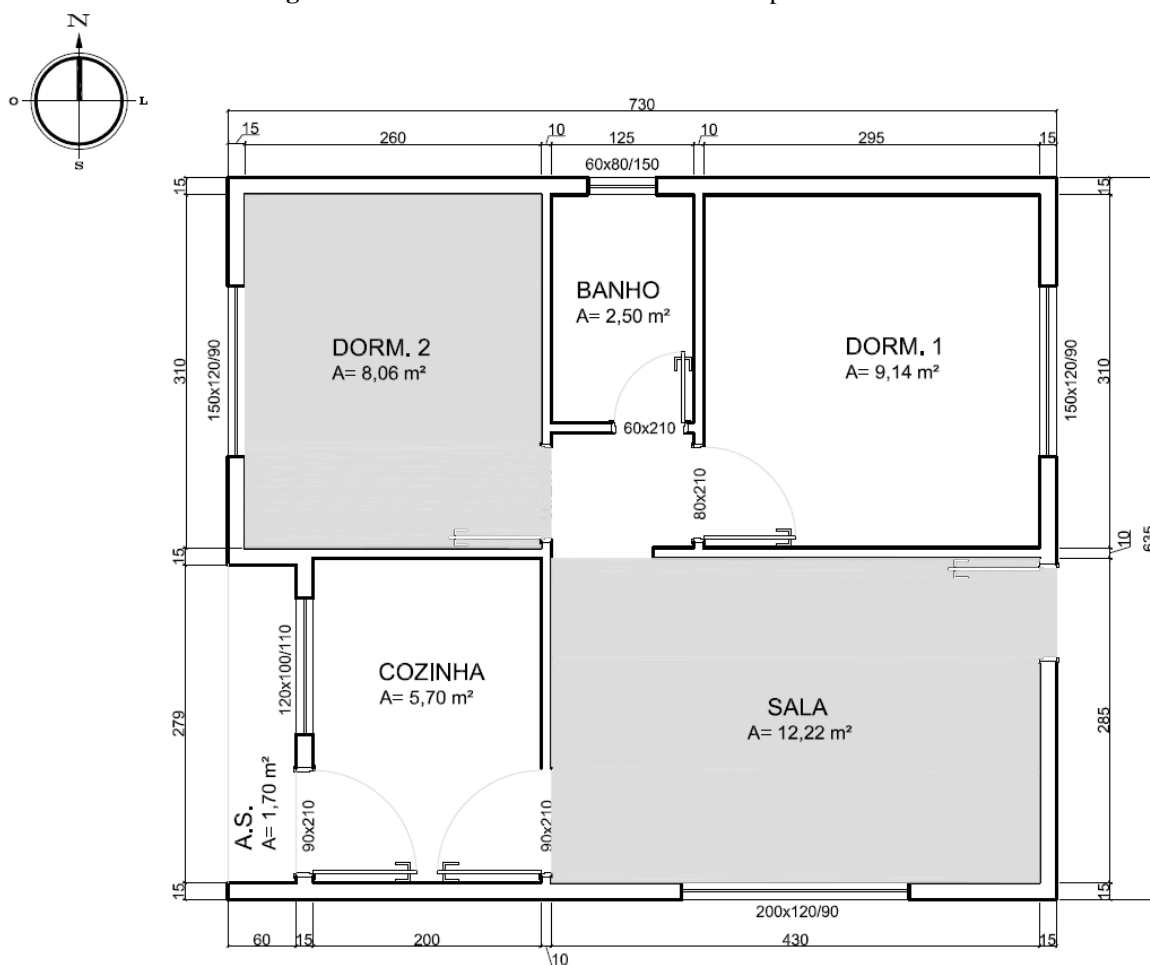
Fonte: SINDUSCON-MG (2007)

A escolha da planta deve-se também à possibilidade de atendimento às indicações da NBR 15575/08, que preconiza que a UH para estudo possua pelo menos um dormitório ou sala com duas paredes expostas ao ambiente externo e que a orientação dessas sigam os seguintes critérios:

- Janela orientada para oeste e a outra parede exposta para o norte, para dia típico de verão;
- Janela voltada para o sul e a outra parede exposta a leste, para dia típico de inverno.

Alterou-se então o posicionamento da janela do dormitório 2 e a orientação foi definida para atender os critérios da norma (Figura 23). O pé-direito considerado para o modelo é de 2,50 m e as aberturas tem dimensões equivalentes a aproximadamente 20% da área do piso do ambiente. O telhado desta UH é formado por duas águas, sendo uma com inclinação voltada para norte e outra para sul.

Figura 23: Planta R1-B alterada e ambientes representativos



PLANTA BAIXA

A= 45,88 m²

Fonte: Primária (2013), adaptada de SINDUSCON-MG (2007)

Conforme indica a NBR 15575/08, na simulação é necessário considerar todos os ambientes da habitação e suas trocas térmicas e a análise deve referir-se aos dormitórios ou salas. Como citado anteriormente, a orientação da UH e o posicionamento das janelas foi determinado de forma a atender as solicitações da norma. Assim, os cômodos representativos são a sala – com uma parede externa orientada à leste e outra para o sul, onde localiza-se a janela – e o dormitório 2 – com uma parede externa orientada para o norte e outra à oeste, onde está posicionada a janela (Figura 23).

As especificações da envoltória do modelo de referência, ou caso base, baseiam-se na descrição feita por Sinduscon-MG (2007). As demais situações que foram experimentadas partiram desta configuração. As propriedades térmicas (transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar) dos sistemas de vedação, aberturas e cobertura deste modelo constam na Tabela 10.

Tabela 10: Componentes construtivos modelo de referência

Tabela 16: Componentes construtivos modelo de referência

Descrição:

Parede externa e interna em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm), argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 15 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	ϕ [horas]	FS _o [%]
2,28 ⁽¹⁾	168 ⁽¹⁾	3,70 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

Descrição:

Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4 mm.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	ϕ [horas]	FS _o [%]
1,97 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	2,75 ⁽³⁾	0,86 ⁽⁴⁾

Descrição:

Cobertura com forro de madeira espessura de 1,0 cm, câmara de ar (>5,0 cm) e telha cerâmica. $\alpha = 0,4$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	ϕ [horas]	FS _o [%]
2,02 ⁽²⁾	26 ⁽²⁾	1,30 ⁽¹⁾	3,20 ⁽²⁾

Nota:

- (1) ABNT (2003)
- (2) LABEEE (2011)
- (3) Calculado conforme ABNT (2003)
- (4) FROTA (2003)

Fonte: Primária (2013)

Os limites de temperatura interna para conforto térmico dos usuários empregados para análise dos resultados das simulações referem-se aos indicados por Givoni (1992) e pela NBR 15575/08. Para facilitar a compreensão, estas composições estão resumidas na Tabela 11.

Tabela 11: Resumo das faixas de conforto térmico

Faixa de conforto segundo Givoni (1992)		Inverno	Verão
		18° C – 25° C	20° C – 28° C
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008)	Nível	Inverno	Verão
	Mínimo	$T_{imim} \geq T_{emin} + 3^{\circ} \text{ C}$	$T_{imax} \leq T_{emax}$
	Intermediário	$T_{imim} \geq T_{emin} + 5^{\circ} \text{ C}$	$T_{imax} \leq T_{emax} - 2^{\circ} \text{ C}$
	Superior	$T_{imim} \geq T_{emin} + 7^{\circ} \text{ C}$	$T_{imax} \leq T_{emax} - 4^{\circ} \text{ C}$

Nota:

T_{imim} é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

T_{emin} é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;

T_{imax} é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

T_{emax} é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: Givoni (1992) e ABNT (2008).

6.1 Dados inseridos na simulação

Conforme explanado no item 4.2.2.1, os *inputs* utilizados no programa MESTRE referem-se às informações sobre o modelo (volumetria, posicionamento geográfico e materiais), aos dados climáticos da localidade e às rotinas de uso. Essas informações são incluídas por meio de um arquivo texto. Parte deste arquivo está apresentada na Figura 24.

Figura 24: Parte de um arquivo .obj do programa MESTRE

```
Comando inicial geral(código d)
CALOR dia mes hi hf deltat lat long graf(Ti Tf qi qf TconfI TconfF) rot neb resSol(x y) resSol(x y) erroConv
d 15 1 0 24 3600 -26 -48 0 40 -5000 5000 18 28 0 0.20 0.1 0.1 0.3 0.3 0.1
onde:
dia=caso mes>0
mes= -1 (ano inteiro hora a hora) 0 (um dia por mes) 1 a 12: um dia somente
hi = hora inicial (não mudar)
hf = hora final (não mudar)
deltat = intervalo de tempo (não mudar)
lat=latitude
long = longitude
graf = limites do gráfico de temperatura (Ti e Tf), taxa de geração de calor (qi e qf) e conforto (TconfI e TconfF)
importantes:
rot= ângulo horário de rotação do modelo todo
neb= fator de nebulosidade (0.0=dia claro; 1.0=dia completamente encoberto) (não mudar)
resSol = resolução da grade de raios solares (aconselhável: metade da menor dimensão da menor janela)
erroConv = critério de convergência de cálculos quando em dia único, aconselhável erro < 0,1

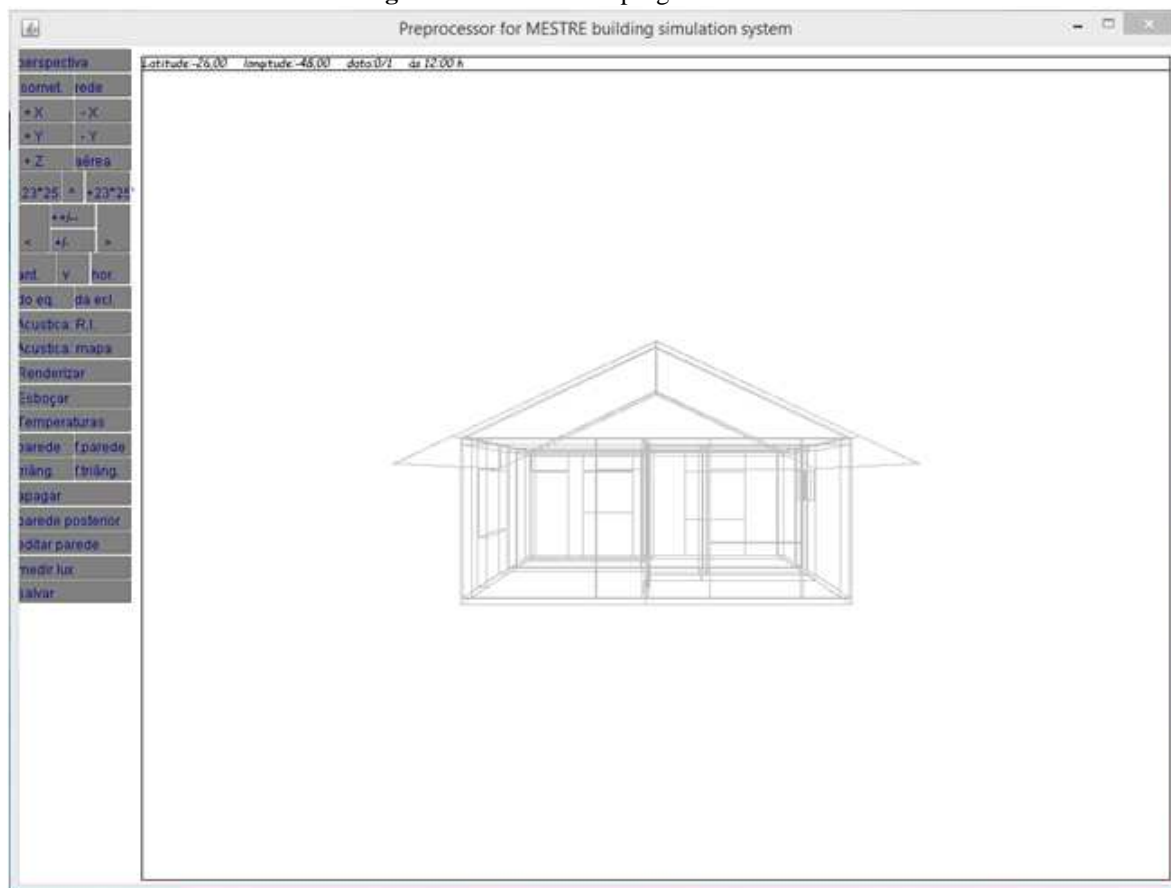
LUZ-resolução para simulação da luz (código g)
g 5

TODOS
Geometria das paredes (código p)
ponto gerador (X,Y,Z), azimuth, altura do vetor normal ao plano (0°=parede vertical),
largura, espessura, altura, material, zona do lado de dentro da parede, zona do lado de fora, temperatura inicial e nome
Imagine-se de pé sobre o ponto gerador e olhando para a direção dada por azimuth+altura
A parede surgirá atrás, à direita e acima de você.
PISOS
p 0.00 6.35 0.00 0 90 2.85 0.10 3.25 3 1 2 20 piso quarto 2
p 2.85 6.35 0.00 0 90 1.35 0.10 2.25 3 1 3 20 piso banho
```

Fonte: Primária, adaptada de Schmid (2013)

Uma vantagem que o MESTRE oferece é a visualização da geometria do modelo na própria interface do programa (Figura 25). Esta ferramenta facilita a construção e conferência da volumetria da edificação inserida no PSDE.

Figura 25: Interface do programa MESTRE



Fonte: Primária, adaptada de Schmid (2013)

Conforme mencionado, alguns parâmetros são mantidos constantes e outros são alterados para análise da sua interferência no sistema. As variáveis controláveis do processo são aquelas definidas no protocolo de coleta de dados, que buscam explicar o efeito no desempenho térmico da edificação em estudo através da aplicação das estratégias bioclimáticas. Esses fatores são explanados nos itens 1.1 a 1.8 deste capítulo.

A seguir estão listados todos os fatores inseridos no *software* e seus valores limites:

1. Dia – 0 a 31 (0 para ano inteiro);
2. Mês – -1 a 12 (-1 considera o ano inteiro)
3. Hora inicial (hi) e hora final (hf) – 0 e 24;
4. Intervalo de tempo (deltat) – 3600;
5. Latitude (lat) e longitude (long) – -26 e -48;
6. Limites dos gráficos de temperatura (que é executado pelo software):
 - Temperatura inicial (Ti) e temperatura final (Tf) – 0 e 40;

- Taxa de geração de calor inicial (q_i) e final (q_f) – -5000 e 5000;
- Temperatura de conforto inicial (T_{confI}) e final (T_{confF}) – 18 e 28;
- 7. Ângulo horário de rotação do modelo (rot) – 0 a 360;
- 8. Fator de nebulosidade – 0,20;
- 9. Resolução da grade de raios solares ($resSol\ x;y$) – 0,3; 0,3 – metade da menor dimensão da menor janela;
- 10. Critério de convergência de cálculos quando em dia único ($erroConv$) – 0,1;
- 11. Geometria do modelo – conforme planta projeto padrão R1-B (Figura 19);
- 12. Zonas térmicas – definidas conforme segue:
 - Zona térmica 0 – exterior;
 - Zona térmica 1 – piso;
 - Zona térmica 2 – dormitório 2;
 - Zona térmica 3 – banheiro;
 - Zona térmica 4 – dormitório 1;
 - Zona térmica 5 – cozinha;
 - Zona térmica 6 – sala;
 - Zona térmica 7 – cobertura;
- 13. Descrição das propriedades dos materiais:
 - Condutividade térmica ($condT$);
 - Calor específico ($calEsp$);
 - Massa específica ($mEsp$);
 - Absortividade (externa e interna);
 - Transmissividade ($taus$);
 - Espessura padrão ($espPadr$);
- 14. Descrição das zonas:
 - Capacidade térmica de tudo o que houver dentro da zona ($capTerm$);
 - Taxa de geração interna de calor ($gerInt$) – horária;
 - Coeficiente de filme na convecção ($coefFilme$) – valor padrão de 8 para materiais e 1000 para o solo;
 - Taxa de ventilação ($vent$) – média para as 0h-6h, 6h-12h, 12h-18h, 18h-24h;
 - Taxa de geração de calor constante ($gerAux$) – média para as 0h-6h, 6h-12h, 12h-18h, 18h-24h;
 - Aquecimento artificial (Aq) – desligado;
 - Refrigeração artificial (Re) – desligado;

- Temperatura inicial para cada zona (T_i) – 21
- 15. Temperatura horária do solo (t_s) – entre 14 e 16
- 16. Clima sintético mensal (t_m) – temperaturas máximas e mínimas diárias de cada mês do ano analisado;
- 17. Clima analítico anual, hora a hora (t_{m2}) – dados climáticos de Joinville, constando as 8.760 horas do ano de 2011. Estes dados são organizados como segue:
 - Mês – 1 a 12;
 - Dia – 1 a 31;
 - Hora – 1 a 24;
 - Radiação direta (2/3 da radiação global) – 0,000 a 874,667;
 - Radiação difusa (1/3 da radiação global) – 0,000 a 447,000.

Para compreensão e análise dos resultados da simulação realizada com o MESTRE, alguns esclarecimentos são necessários. O primeiro deles diz respeito sobre a forma como o *software* calcula as taxas de ventilação natural. Como colocado anteriormente, o programa entende quatro períodos do dia para ventilação (2 diurnos e 2 noturnos). Como esses índices não são calculados hora a hora, o tempo transcorrido para simulação é menor, ainda mais quando são realizadas as experimentações das 8760 horas de um ano. Por esse motivo, foram feitas 2 rodadas anuais para as análises do uso da ventilação natural, uma para inverno e outra para verão. Na primeira, foi definida uma taxa de ventilação diurna e avaliados os resultados de desconforto por frio e na segunda foi alterado o índice noturno e avaliados os resultados de desconforto por calor.

Outros aspectos relevantes sobre o processamento das informações no MESTRE é que o mesmo desconsidera a radiação de onda longa e considera as temperaturas do solo quase constantes. Conforme afirma Labs (1989), a predição da temperatura de solos, homogêneos e não perturbados, é um problema clássico dentro da teoria de condução de calor. A condutividade térmica dos solos pode ser influenciada por diversos fatores, como a composição mineral, a densidade e o grau de umidade. Além disso, há uma diferença de temperatura entre a camada do terreno que está exposta à radiação solar e a que está em contato com o edifício. Em uma edificação sem isolamento da fundação, como é o caso do modelo simulado neste estudo, essas alterações de temperatura do solo são refletidas no piso e nas paredes.

Os valores da temperatura do ar, dos ambientes representativos, obtidos nas simulações são a variável de resposta para explanação dos efeitos da aplicação das estratégias passivas de condicionamento térmico.

6.1.1 Simulações teste

Conforme citado no item 4.2, foram realizadas simulações teste para avaliar individualmente o efeito dos fatores controláveis. Nesses experimentos foram alterados do caso base os itens constantes no Quadro 11, tanto para dia típico de verão quanto de inverno. A análise de forma isolada destas variáveis permitiu identificar quais delas são relevantes no desempenho térmico da UH e determinar os modelos a serem simulados e avaliados nesta investigação.

Quadro 11: Simulações teste

TESTE	VARIÁVEL ALTERADA
Teste 1	Orientação – rotação de 270°
Teste 2	Cobertura – substituição de forro de madeira por laje mista (concreto e EPS)
Teste 3	Parede externa – substituição de alvenaria comum por alvenaria + EPS + madeira (isolamento)
Teste 4	Parede interna – substituição de alvenaria comum por alvenaria de tijolos deitados duplos
Teste 5	Vidro – substituição de vidro simples por vidro duplo nas janelas
Teste 6	Sombreamento – utilização de venezianas nas janelas
Teste 7	Aberturas – aumento da dimensão da janela
Teste 8	Pé-direito – elevação da altura piso-teto para 3,00m, 4,00m e 6,00m

Fonte: Primária (2013)

Pelos resultados obtidos nas simulações teste foi possível verificar que 2 das variáveis não afetam sozinhas o desempenho térmico da edificação em questão: a orientação e o sombreamento das janelas. A alteração do sistema de cobertura de forro para laje mista fez diminuir a amplitude térmica em décimos (entre 0,4°C e 0,6°C, no inverno e entre 0,2°C e 0,7°C no verão), ou seja, elevou a T_{\min} e diminuiu a T_{\max} . Substituir a parede externa de alvenaria comum para uma com isolamento refletiu na queda das temperaturas no verão (0,6°C para a T_{\min} e 1,6°C para a T_{\max}). Na simulação de dia típico de inverno com parede externa isolada, houve um decréscimo na T_{\max} de 0,7°C e um acréscimo na T_{\min} de 0,4°C. Já a utilização das paredes internas em alvenaria de tijolos duplos deitados gerou uma mudança insignificante nas temperaturas internas, assim como a troca de vidro simples por duplo nas janelas. Com relação ao dimensionamento das aberturas, identificou-se que o efeito só é representativo quando estas são próximas ou iguais à dimensão da parede exposta (pele de vidro). Por fim, a simulação de diferentes alturas de pé-direito impactou na amplitude térmica. Ao elevar a dimensão entre piso e teto, houve um decréscimo na diferença entre as T_{\max} e as

T_{\min} dos cômodos, ou seja, para a UH estudada a altura do pé-direito é inversamente proporcional à amplitude térmica. Para o pé-direito de 3,00m houve uma queda de 0,3°C na amplitude térmica tanto no verão quanto no inverno e para a altura de 6,00m o decréscimo foi de 1,3°C no inverno e 1,1°C no verão. Os gráficos dessas simulações encontram-se no apêndice deste trabalho.

6.1.2 Parâmetros e padrões simulados

Para verificar o efeito da ventilação natural nos modelos, foram simulados 2 padrões de trocas de ar do exterior com o interior da edificação, cujos valores constam no Quadro 12.

Quadro 12: Padrões de ventilação simulados

VENTILAÇÃO
Ventilação higiênica – 0,01 m ³ /s
Considerando janelas totalmente abertas e existência de vento – 0,20 m ³ /s (diurna ou noturna)

Fonte: Primária (2013)

A simulação foi realizada considerando a edificação desocupada e ocupada. Para a simulação de ocupação da UH, considerou-se uma família de 4 pessoas – casal mais 2 filhos. Esse procedimento permite estabelecer o número de pessoas e o uso de equipamentos por cômodo em cada hora do dia.

Foi ponderado que os usuários estariam na residência apenas no período noturno (das 19h às 8h) e não foram experimentadas diferentes rotinas de uso, como finais de semana por exemplo. Esta decisão deve-se ao fato do tempo necessário para análise dos resultados, considerando que estas alterações já são visíveis nesta configuração. A introdução desses elementos alude à realidade da edificação quando em uso e é um procedimento constante da maioria das pesquisas de desempenho térmico por meio de simulação computacional.

Conforme a rotina estabelecida, foram acrescentadas as cargas térmicas de equipamentos aos ambientes, nos horários em que estes são utilizados (Quadro 13). Assim, tem-se a carga do refrigerador na cozinha durante todo o dia e a ela soma-se carga de preparo de refeição em dois momentos: das 7h às 8h e das 19h às 20h. Para os quartos foi considerada a potência da iluminação das 22h às 23h. Na sala há o acréscimo da carga de iluminação e do aparelho de TV apenas das 20h às 22h e no banheiro foi considerada a soma da potência do chuveiro e das lâmpadas das 21h às 22h. Em todos os ambientes foi considerada a carga térmica dos

moradores, sendo que esta foi incluída quando o cômodo estava em uso. Neste caso, ponderou-se a permanência de 2 pessoas por dormitório no período noturno.

Quadro 13: Padrão de ocupação simulado

OCUPAÇÃO			
Ambiente	Fonte geradora de calor	Carga térmica (W)	Hora
Dormitório 2	2 Pessoas	200	0 às 7 e 22 às 24
	Iluminação	200	22 às 23
Banheiro	1 Pessoa	100	7 às 8 e 21 às 22
	Iluminação	200	7 às 8 e 21 às 22
	Chuveiro	3300	7 às 8 e 21 às 22
Dormitório 1	2 Pessoas	200	0 às 7 e 22 às 24
	Iluminação	200	22 às 23
Cozinha	4 Pessoas	400	7 às 8 e 19 às 20
	Iluminação	200	7 às 8 e 19 às 20
	Preparo refeição	2500	7 às 8 e 19 às 20
	Refrigerador	300	0 às 24
Sala	4 pessoas	400	20 às 22
	Iluminação + TV	300	20 às 22

Fonte: Primária (2013).

Os componentes construtivos alterados nos modelos compõem os sistemas de vedação (externos e/ou internos), as aberturas e o sistema de cobertura. A seleção dos materiais de cada exemplar foi realizada a partir dos parâmetros indicados no item 2.3.1 deste trabalho e também por serem mais comumente utilizados na região em estudo (Tabela 12).

Tabela 12: Parâmetros de desempenho térmico de componentes construtivos

Parâmetros		U [W/(m².K)]		C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
		α ≤ 0,6	α > 0,6			
Paredes externas (leve e refletora ⁽¹⁾)	Mínimo	≤ 3,6 ⁽¹⁾	≤ 2,5 ⁽²⁾	≥ 130 ⁽²⁾	≤ 4,3 ⁽¹⁾	≤ 4,0 ⁽¹⁾
	Intermediário	-	-	-	-	-
	Superior	-	-	-	-	-
Cobertura (leve e isolada ⁽¹⁾)	Mínimo	≤ 2,0 ⁽¹⁾	≤ 1,5 ⁽²⁾	≥ 150 ⁽²⁾	≤ 3,3 ⁽¹⁾	≤ 6,5 ⁽¹⁾
	Intermediário	≤ 1,5 ⁽²⁾	≤ 1,0 ⁽²⁾	-	-	-
	Superior	≤ 1,0 ⁽¹⁾	≤ 0,5 ⁽²⁾	-	-	-
Paredes internas (pesadas ⁽¹⁾)	-	-	-	-	-	-

Nota:

(1) NBR 15220-3 (ABNT, 2003)

(2) NBR 15575 (ABNT, 2008)

U é a transmitância térmica do componente;

C_T é a capacidade térmica do componente;

φ é o atraso térmico do componente;

FS_o é o fator solar do componente

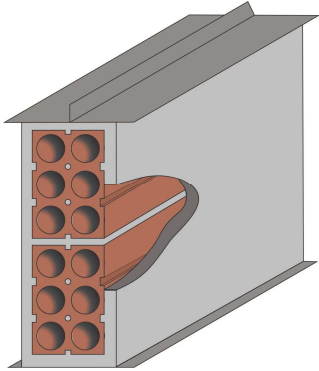
Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003) e ABNT NBR 15575 (2008)


Com base nas informações obtidas na revisão bibliográfica e no resultado das simulações teste, optou-se pela experimentação de 6 modelos a partir da conformação do caso base. Ressalta-se que foram experimentadas outras composições, mas essas não são apresentadas no corpo principal deste trabalho por não terem exibido consequência significativa ou não atenderem o objetivo desta investigação.

6.1.3 Modelo 1

O primeiro modelo simulado tem as mesmas características construtivas do caso base, apenas com o acréscimo de um sistema de proteção solar (veneziana). Conforme verificado na revisão bibliográfica, para uma localidade de clima quente e úmido, o sombreamento das aberturas é indicado. Esta recomendação é dada pelo fato do alto índice de radiação solar e pela necessidade de manter a ventilação quando ocorrem chuvas, que são frequentes neste tipo de clima. O uso das venezianas também permite a ventilação higiênica mesmo em períodos de desocupação da UH. Assim, nesta configuração se tem parede externa e interna em alvenaria convencional, aberturas em esquadria de madeira com vidro simples e veneziana, cobertura com telha cerâmica e forro de madeira (Tabela 13).

Tabela 13: Componentes construtivos modelo 1

	Descrição:			
	Parede externa e interna em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm), argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 15 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.			
	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	ϕ [horas]	FSO [%]
	2,28 ⁽¹⁾	168 ⁽¹⁾	3,70 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

	Descrição:			
	Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4mm e veneziana tipo portuguesa.			
	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	ϕ [horas]	FSO [%]
	1,19 ⁽³⁾	51 ⁽³⁾	2,95 ⁽³⁾	3,33 ⁽³⁾

Continua

Diagrama 3D de uma cobertura. No topo, há uma telha cerâmica (representada em marrom). Abaixo dela, há uma câmara de ar (representada em marrom claro). No fundo, há um forro de madeira (representado em verde) com uma espessura de 1 cm. As etiquetas indicam: telha cerâmica, câmara de ar e forro madeira 1cm.

Descrição:

Cobertura com forro de madeira espessura de 1,0 cm, câmara de ar (>5,0 cm) e telha cerâmica. $\alpha = 0,4$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
2,02 ⁽³⁾	26 ⁽²⁾	1,30 ⁽¹⁾	3,20 ⁽²⁾

Nota:

- (1) ABNT (2003)
- (2) LABEEE (2011)
- (3) Calculado conforme ABNT (2003)
- (4) FROTA (2003)

Fonte: Primária (2013)

6.1.4 Modelo 2

O modelo 2 diferencia-se do caso de referência por incluir o isolamento da cobertura e paredes internas pesadas, para atender aos quesitos preconizados na Tabela 13. É importante observar que nem mesmo na norma tem-se um exemplo de sistema de cobertura que atenda aos requisitos mínimos de desempenho. O valor do atraso térmico da composição aqui especificada é superior ao definido pela NBR 15220/03, que deve ser $\leq 3,3$. Na tabela 14 constam os componentes deste modelo.

Tabela 14: Componentes construtivos modelo 2

Tabela 14: Componentes construtivos modelo 2

Descrição:

Parede externa em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm), argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 15 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
2,28 ⁽¹⁾	168 ⁽¹⁾	3,70 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

Descrição:

Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4mm.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,97 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	2,75 ⁽³⁾	0,86 ⁽⁴⁾

Descrição:

Parede interna dupla em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm) deitados, argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 36 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,21 ⁽¹⁾	312 ⁽¹⁾	8,60 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

Descrição:

Laje pré-moldada 12 cm de espessura (concreto 4 cm + EPS 7 cm + argamassa 1 cm), câmara de ar (>5,0 cm) e telha cerâmica. $\alpha = 0,4$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,52 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	3,60 ⁽¹⁾	2,40 ⁽²⁾

Nota:

(1) ABNT (2003)

(2) LABEEE (2011)

(3) Calculado conforme ABNT (2003)

(4) FROTA (2003)

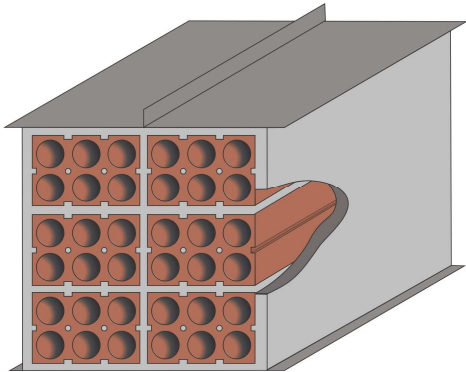
Fonte: Primária (2013)

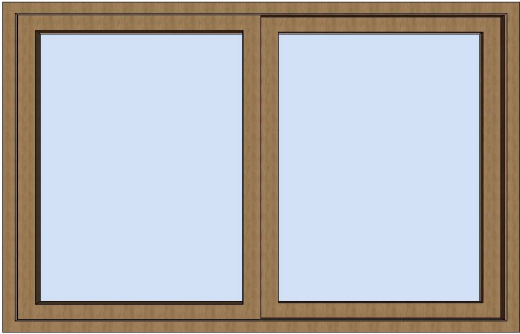
6.1.5 Modelo 3

No modelo 3 foram avaliadas as indicações da carta bioclimática para Joinville, que consta no item 4 deste trabalho. As estratégias mais relevantes verificadas a partir da plotagem dos dados climáticos no diagrama de Givoni (1992), conforme Goulart *et al.* (1994), são a alta inércia térmica e a ventilação. O uso de ventilação natural é solicitado para restaurar o conforto térmico em dias de calor e a alta inércia térmica é recomendada tanto para o inverno quanto para o verão. No caso do desconforto por frio, o diagrama bioclimático recomenda a associação da alta inércia térmica com o aquecimento solar passivo.

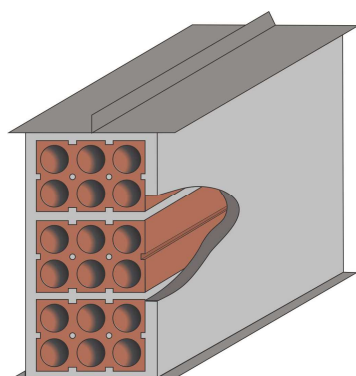
Sendo assim, neste modelo foi simulado o projeto de referência composto de paredes externas duplas de tijolos deitados, paredes internas em tijolo deitado, esquadrias com vidro simples e sistema de cobertura composto por forro em madeira e telha cerâmica (Tabela 15).

Tabela 15: Componentes construtivos modelo 3

	Descrição:			
	Parede externa dupla em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm) deitados, argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 36 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.			
	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]	FS ₀ [%]
	1,21 ⁽¹⁾	312 ⁽¹⁾	8,60 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

	Descrição:			
	Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4mm.			
	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]	FS ₀ [%]
	1,97 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	2,75 ⁽³⁾	0,86 ⁽⁴⁾

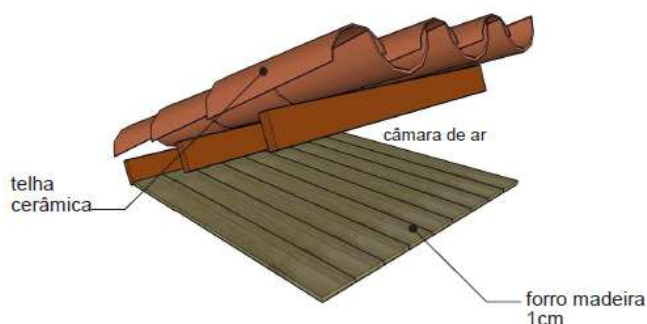
Continua



Descrição:

Parede interna em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm) deitado, argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 20 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,92 ⁽¹⁾	202 ⁽¹⁾	4,80 ⁽¹⁾	3,07 ⁽³⁾



Descrição:

Cobertura com forro de madeira espessura de 1,0 cm, câmara de ar (>5,0 cm) e telha cerâmica. $\alpha = 0,4$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
2,02 ⁽³⁾	26 ⁽²⁾	1,30 ⁽¹⁾	3,20 ⁽²⁾

Nota:

- (1) ABNT (2003)
- (2) LABEEE (2011)
- (3) Calculado conforme ABNT (2003)
- (4) FROTA (2003)

Fonte: Primária (2013)

6.1.6 Modelo 4

A partir de uma avaliação prévia das simulações dos casos acima referidos, foram investigados outros arranjos com os mesmos componentes construtivos (modelos 4 e 5). O quarto modelo apresenta apenas um diferencial do caso de referência: a substituição do forro de madeira por laje de concreto e EPS (Tabela 16).

Tabela 16: Componentes construtivos modelo 4

Tabela 16: Componentes construtivos modelo 4

Descrição:

Parede externa e interna em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm), argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 15 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
2,28 ⁽¹⁾	168 ⁽¹⁾	3,70 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

Descrição:

Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4mm.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,97 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	2,75 ⁽³⁾	0,86 ⁽⁴⁾

Descrição:

Laje pré-moldada 12 cm de espessura (concreto 4 cm + EPS 7 cm + argamassa 1 cm), câmara de ar (>5,0 cm) e telha cerâmica. $\alpha = 0,4$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,52 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾	3,60 ⁽¹⁾	2,40 ⁽²⁾

Nota:

- (1) ABNT (2003)
- (1) LABEEE (2011)
- (2) Calculado conforme ABNT (2003)
- (3) FROTA (2003)

Fonte: Primária (2013)

6.1.7 Modelo 5

No quinto modelo simulado, manteve-se o sistema de cobertura, a configuração das paredes externas e das esquadrias do caso base, substituindo-se apenas as paredes internas por alvenaria de tijolos duplos deitados (Tabela 17).

Tabela 17: Componentes construtivos modelo 5

Tabela 17: Componentes construtivos modelo 3

Descrição:

Parede externa em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm), argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 15 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FSo [%]
2,28 ⁽¹⁾	168 ⁽¹⁾	3,70 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

Descrição:

Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4mm.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FSo [%]
1,97 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	2,75 ⁽³⁾	0,86 ⁽⁴⁾

Descrição:

Parede interna dupla em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm) deitados, argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 36 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FSo [%]
1,21 ⁽¹⁾	312 ⁽¹⁾	8,60 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾

Descrição:

Cobertura com forro de madeira espessura de 1,0 cm, câmara de ar (>5,0 cm) e telha cerâmica. $\alpha = 0,4$.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FSo [%]
2,02 ⁽³⁾	26 ⁽²⁾	1,30 ⁽¹⁾	3,20 ⁽²⁾

Nota:

(1) ABNT (2003)

(2) LABEEE (2011)

(3) Calculado conforme ABNT (2003)

(4) FROTA (2003)

Fonte: Primária (2013)

6.1.8 Modelo 6

Nas últimas duas décadas muito se têm debatido a respeito do meio ambiente e dos impactos que as atividades humanas têm gerado no planeta. Estas discussões geraram reflexões e mudanças no setor da construção civil, como a aplicação de técnicas e materiais mais sustentáveis.

A utilização do telhado verde é uma das técnicas que estão atraindo olhares dos pesquisadores e técnicos para o melhoramento do desempenho das edificações em vários aspectos. Conforme UFSC/LABEEE (2010), uma proporção da radiação solar incidente na cobertura verde é absorvida pelas plantas, gerando o resfriamento passivo da mesma. Vários autores citados na pesquisa também expõem que o telhado vegetado proporciona uma diminuição do fluxo de calor para dentro do edifício por seu efeito sombreador, pelo albedo da vegetação e pela baixa difusividade térmica do solo úmido (massa térmica). UFSC/LABEEE (2010) ressalta que:

Ao contrário do que se imaginou durante algum tempo, os telhados vegetados não funcionam como isolantes térmicos, mas sim como dispositivos armazenadores de calor. Sua efetividade neste processo é devida, primeiramente, à sua alta capacidade térmica associada a grandes trocas de calor latente (UFSC/LABEEE, 2010).

Outras vantagens desta cobertura podem ser verificadas em alguns estudos. A performance energética da edificação também pode ser aperfeiçoada com o uso do telhado verde, pois, com a melhora do desempenho térmico, gera uma redução no consumo de energia para refrigeração dos ambientes (UFSC/LABEEE, 2010). Segundo Sailor (2006, *apud* UFSC/LABEEE, 2010), a substituição de superfícies impermeabilizadas por vegetação pode ser uma estratégia para mitigação das ilhas de calor urbano. Em sua investigação, Baldessar (2012) concluiu que, através da evapotranspiração do telhado vegetado, há uma redução na quantidade de água da chuva que iria para as redes pluviais. Com este fato é possível afirmar que o uso desta técnica nas edificações pode reduzir o risco de enchentes.

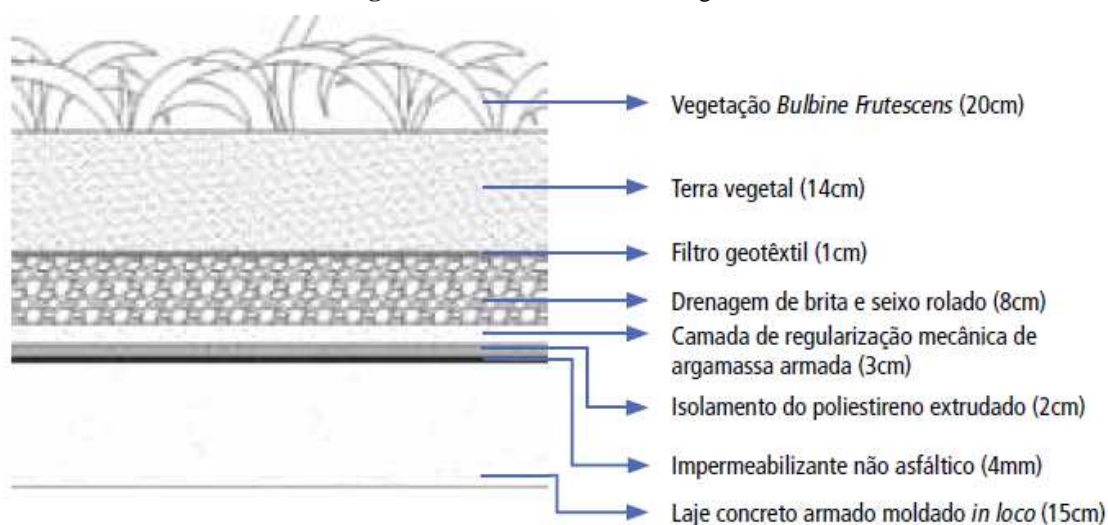
Por todas estas considerações, decidiu-se por incluir nesta investigação uma análise do efeito da cobertura verde no desempenho térmico do projeto experimentado. É importante ressaltar que o estudo desta técnica não é o objetivo deste trabalho e, por tanto, este será realizado a partir da pesquisa desenvolvida na Casa Eficiente, em Florianópolis.

No citado estudo foram analisados três sistemas de cobertura: (a) com telha cerâmica; (b) com telha metálica e placas fotovoltaicas; (c) com telhado vegetado. A figura 26 mostra a composição desta cobertura, que será a mesma aplicada na simulação do modelo 6. Este

telhado verde é do tipo extensivo, que necessita basicamente de uma camada impermeabilizante, uma drenante, uma de substrato e a camada de vegetação.

“A camada de vegetação de um telhado vegetado extensivo deve estar preparada para condições ambientais externas e para sobreviver em camadas mínimas de substrato” (UFSC/LABEEE, 2010). Também por esta consideração foi selecionado esta composição para o sistema de cobertura a ser avaliado neste modelo, pois a cidade de Florianópolis compartilha com Joinville de um clima quente e úmido (apesar de pertencer a outro zoneamento bioclimático conforme a NBR 15220-3/03).

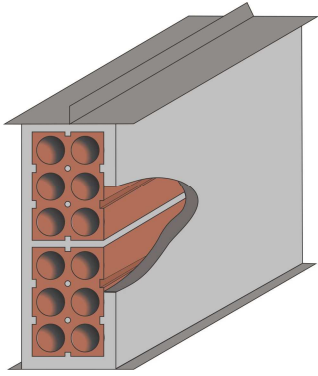
Figura 26: Corte da cobertura vegetada



Fonte: UFSC/LABEEE (2010)

Assim, na Tabela 18 é possível identificar a configuração deste modelo, que se difere do caso base apenas pelo sistema de cobertura.

Tabela 18: Componentes construtivos modelo 6

		Descrição:		
		Parede externa e interna em tijolos cerâmicos 6 furos circulares (10x15x20 cm), argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço em ambas as faces com 2,5 cm de espessura. Espessura total da parede: 15 cm. Pintura externa $\alpha = 0,40$.		
U	C_T	ϕ	FSO	
[W/(m ² .K)]	[kJ/(m ² .K)]	[horas]	[%]	
2,28 ⁽¹⁾	168 ⁽¹⁾	3,70 ⁽¹⁾	3,65 ⁽³⁾	

Continua

Descrição:

Esquadria de madeira cedro espessura 4,0 cm com vidro simples 4mm.

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
1,97 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	2,75 ⁽³⁾	0,86 ⁽⁴⁾

Descrição:

Cobertura com laje em concreto armado (15 cm), impermeabilizante não asfáltico (4 mm), isolamento de poliestireno extrudado (2 cm), camada de regularização mecânica (3 cm), camada de drenagem (8cm), filtro geotêxtil (1 cm), terra vegetal (14 cm) e vegetação (20cm).

U [W/(m².K)]	C _T [kJ/(m².K)]	φ [horas]	FS _o [%]
0,82 ⁽⁵⁾	-	11 ⁽⁵⁾	1,3 ⁽⁵⁾

Nota:

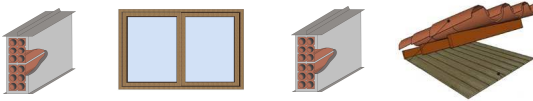
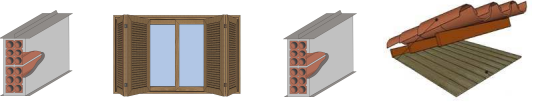
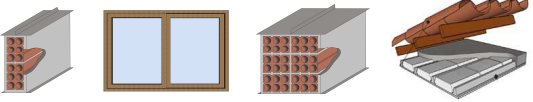
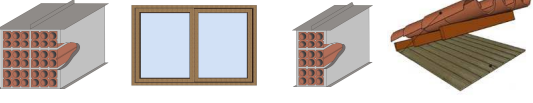
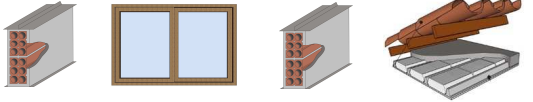
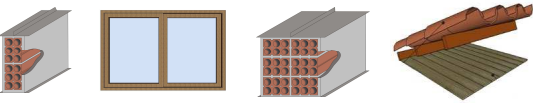
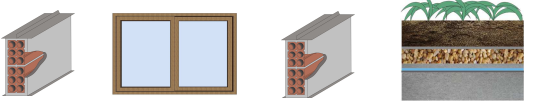
(5) UFSC/LABEEE (2010)

Fonte: Primária (2013)

6.1.9 Resumo das simulações

Como citado, além das diferentes composições construtivas, foram experimentadas combinações de fatores controláveis do processo (ventilação e ocupação). Para organização dos resultados e compreensão das variações que foram investigadas, as rodadas foram nomeadas por números e letras. Os números dizem respeito ao modelo (composição construtiva), sendo que o caso de referência não recebeu numeração. A letra “A” indica UH desocupada e a letra “B” foi utilizada nas rodadas onde se considerou as cargas térmicas dos moradores e equipamentos (UH ocupada). As rodadas nomeadas com as letras “V” e “I” indicam o incremento de ventilação de verão e de inverno, respectivamente. Para melhor esclarecer estas convenções de variáveis tem-se o Quadro 14. É importante observar que o MESTRE calcula apenas 4 períodos horários de ventilação: (1) das 0h às 6h; (2) das 6h às 12h; (3) das 12h às 18h; (4) das 18h às 24h. Assim, as informações contidas no Quadro 14 seguem esta ordem.

Quadro 14: Resumo situações das simuladas

MODELO	RODADA	OCUPAÇÃO	TAXA DE VENTILAÇÃO (m³/s)
Modelo de Referência 	A	Desocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	AV	Desocupada	0,20 / 0,01 / 0,01 / 0,20
	AI	Desocupada	0,01 / 0,20 / 0,20 / 0,01
	B	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
Modelo 1 	B1	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
Modelo 2 	B2	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BV2	Ocupada	0,20 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BI2	Ocupada	0,01 / 0,20 / 0,01 / 0,01
Modelo 3 	B3	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BV3	Ocupada	0,20 / 0,01 / 0,01 / 0,01
Modelo 4 	B4	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BV4	Ocupada	0,20 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BI4	Ocupada	0,01 / 0,20 / 0,01 / 0,01
Modelo 5 	B5	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BV5	Ocupada	0,20 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BI5	Ocupada	0,01 / 0,20 / 0,01 / 0,01
Modelo 6 	B6	Ocupada	0,01 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BV6	Ocupada	0,20 / 0,01 / 0,01 / 0,01
	BI6	Ocupada	0,01 / 0,20 / 0,01 / 0,01

Fonte: Primária (2014)

Como é possível verificar no Quadro 14, somente em alguns casos foram realizadas as simulações considerando índices de ventilação natural diurna e noturna. Os modelos que não foram experimentados nestas condições são aqueles cujos resultados foram inexpressivos. Todos os exemplares foram rodados para dia típico de verão e de inverno e para o ano todo.

7 RESULTADOS

Conforme explanado, foram investigados 7 modelos, incluindo o caso base. Como o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia das estratégias passivas de conforto térmico indicadas para Joinville/SC. Sendo assim, as diferentes composições construtivas dos modelos foram definidas a partir dessas táticas, explicitadas na Tabela 9. Todos os exemplares foram experimentados para dia típico de verão (DTV), para dia típico de inverno (DTI) e para o período anual – 8760 horas de 2011.

Para fins de avaliação do desempenho térmico dos modelos estudados, a variável de resposta considerada foi a temperatura do ar dos ambientes representativos (quarto 2 e sala). Os resultados das experimentações nos DTV e DTI foram comparados aos níveis de desempenho preconizados pela NBR 15575/08. Na análise anual, verificou-se a quantidade de horas fora dos limites de temperatura da faixa de conforto definida por Givoni (1992), já apresentadas na Tabela 11.

7.1 Modelo de referência

Como elucidado no capítulo anterior, o modelo de referência constitui-se por uma residência unifamiliar contendo 2 dormitórios, 1 instalação sanitária, cozinha, sala e área externa para tanque. O sistema de vedação do caso base é formado por alvenaria de tijolos cerâmicos (15cm) e esquadrias em madeira com vidro simples. As paredes internas tem a mesma configuração das externas e a cobertura é composta por telhas cerâmicas e forro em madeira. Estas informações estão detalhadas na Tabela 10.

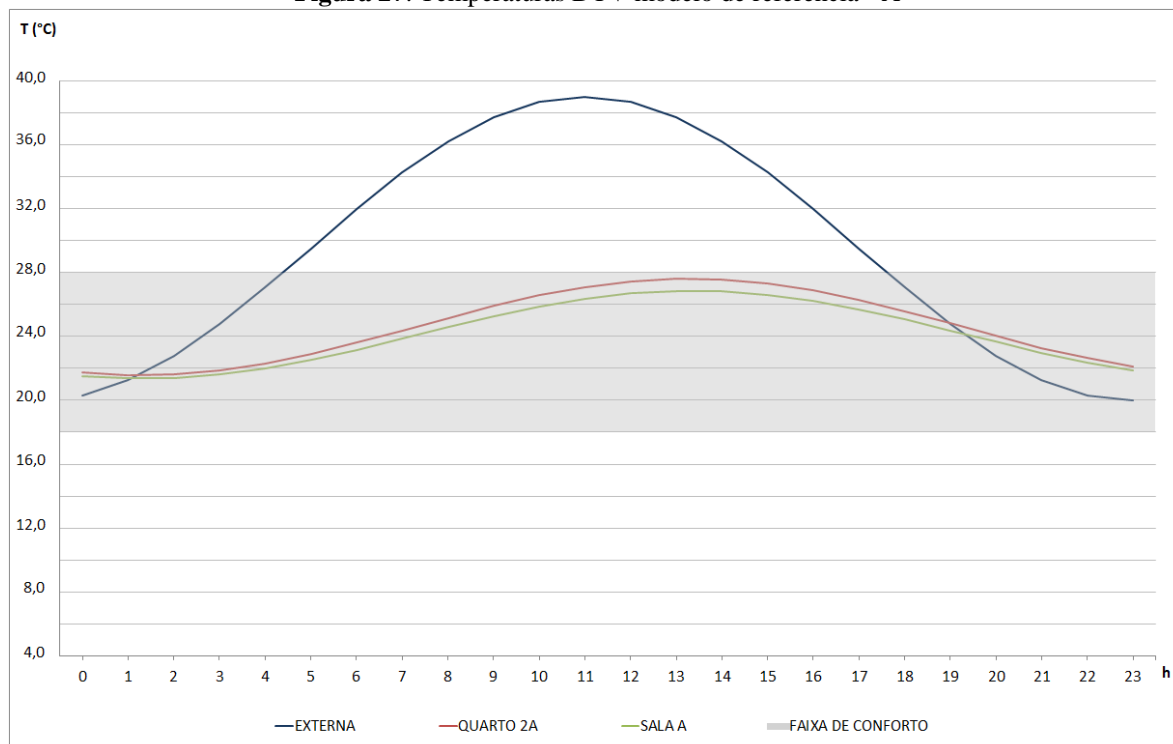
A orientação da planta foi definida para atender a indicação da NBR 15575/08. Assim, a parte íntima está voltada para face norte e a parte social para face sul. Com isso tem-se um ambiente representativo com paredes externas Norte e Oeste (Quarto 2) e outro exposto para Sul e Leste (Sala).

Conforme exposto no Quadro 14, o caso base foi simulado para 4 diferentes configurações (A, AV, AI e B), alterando-se ocupação e taxa de ventilação.

Primeiramente o modelo foi simulado para o DTV e para o DTI, definidos no item 5.3. Assim pôde-se verificar o desempenho do sistema construtivo em dias representativos de frio e calor. Esta análise é indicada pela NBR 15575/08. Na literatura, para uma avaliação mais abrangente da edificação, encontram-se simulações anuais, hora a hora, que também foi elaborada neste estudo nos modelos apresentados no capítulo 6.

A Figura 27 mostra os valores das temperaturas externa e dos ambientes representativos, para DTV, sem ocupação e considerando somente ventilação higiênica. Essa configuração seguiu as recomendações da NBR 15575/08 para simulação de UH - taxa de ventilação de 1 ren/h, aberturas sem sombreamento e ambientes desocupados.

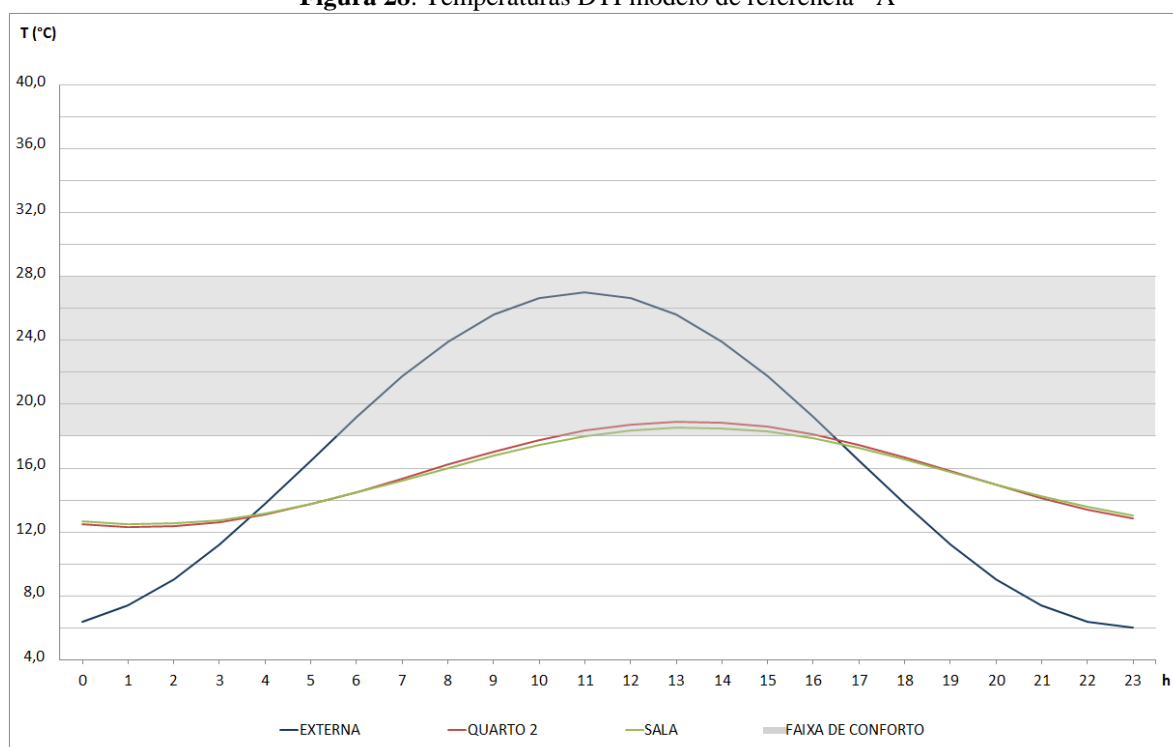
Figura 27: Temperaturas DTV modelo de referência - A



Fonte: Primária (2014)

A temperatura externa máxima registrada no DTV foi de 39,0°C, e a mínima de 20,0°C. Para composição construtiva do caso base, nota-se um amortecimento do pico de calor significativo nos dois cômodos representativos (11,2°C e 11,9°C). Com isto, tanto as temperaturas do ar no dormitório 2 quanto na sala permaneceram dentro dos limites de conforto preconizados por Givoni (1992). Com relação aos níveis de desempenho de verão propostos na NBR 15575/08 (Tabela 12), o modelo de referência nesta configuração obteve classificação superior, pois a T_{imax} dos ambientes analisados foi inferior em mais de 4°C à T_{emax} .

Na Figura 28 têm-se os dados obtidos na simulação de DTI.

Figura 28: Temperaturas DTI modelo de referência - A

Fonte: Primária (2014)

O DTI apresentou temperatura externa mínima de 6,0°C e máxima de 27,0°C. De acordo com o gráfico da Figura 28, esta composição construtiva não tem boa eficiência na manutenção do conforto térmico no inverno. Foi verificado o amortecimento do pico de frio (6,2°C e 6,4°C), mas este não foi suficiente para manter a temperatura interna dentro da faixa de conforto. Um dos motivos está no fato do amortecimento também ocorrer para a temperatura máxima, e com um impacto maior (7,9°C e 8,3°C). Sendo assim, para DTI, sem ocupação e ventilação higiênica, o caso base apresentou média de 77% das horas do dia de desconforto. Apesar das baixas temperaturas o nível de desempenho para DTI é intermediário.

Na simulação anual (8760 horas) do modelo de referência rodada A, foram apuradas 3053 horas de desconforto por frio no quarto 2 (34,9% do período) e 3274 horas na sala (37,4% do período). Para esta conformação não foi verificado desconforto por calor.

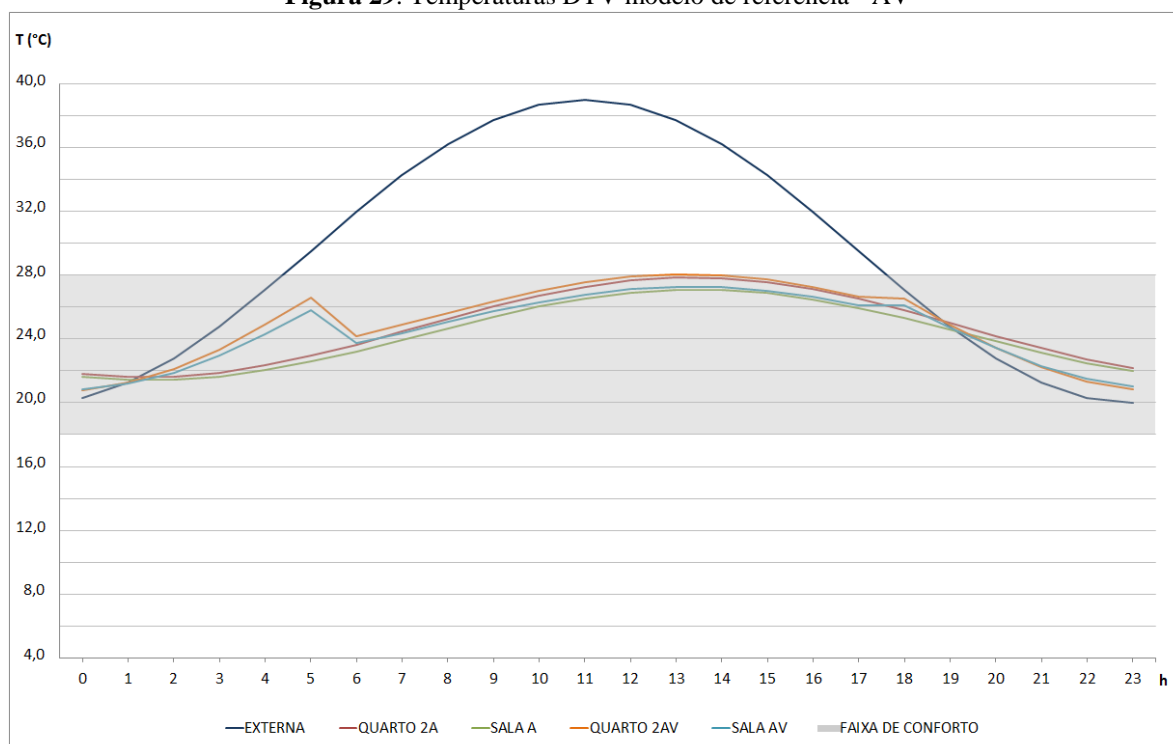
No Quadro 15 estão resumidos os resultados dessa rodada de simulações.

Quadro 15: Resultados simulação A modelo de referência

Modelo de Referência				
Desocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	3053 (34,9%)	3274 (37,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Intermediário	Intermediário	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

A segunda rodada de simulações (AV) foi realizada de forma a averiguar o impacto da ventilação noturna nas TBS, em períodos de temperaturas externas elevadas. A estratégia de ventilação natural foi verificada nos resultados da carta bioclimática de Joinville e enfatizada na literatura estudada. Essa tática para estações quentes é bem-vinda quando as temperaturas externas encontram-se mais amenas que as internas, o que geralmente ocorre à noite, quando não há incidência da radiação solar. Por este fato, essa configuração só foi simulada para DTV (Figura 29).

Figura 29: Temperaturas DTV modelo de referência - AV

Fonte: Primária (2014)

O implemento de um fluxo mais elevado de ventilação em um dia típico de verão, ou seja, de maior troca de ar com o ambiente externo, acarretou no aumento da amplitude

térmica. Isso significa uma baixa na T_{imim} e uma alta na T_{imax} . Essas alterações foram mínimas tanto no dormitório 2 quanto na sala – incremento de $1,0^{\circ}\text{C}$ e $0,7^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Por conta da elevação da T_{imax} , foi verificado uma pequena discrepância da faixa de conforto do quarto 2 às 13h, mas com valor insignificante ($28,1^{\circ}\text{C}$). O nível de desempenho permaneceu o mesmo da rodada A – superior – mas com resultado um pouco menor, pois no quarto 2 o amortecimento da T_{imax} foi de $10,9^{\circ}\text{C}$ e na sala foi de $11,7^{\circ}\text{C}$.

Foi possível constatar, a partir dos dados do gráfico da Figura 30, que o uso da ventilação natural só é eficiente para amenizar o calor quando os valores da temperatura do ar externo estão baixos. Para o dia simulado, verificou-se que o mais eficaz seria permitir a ventilação natural das 19h à 1h. Como citado anteriormente, o MESTRE estabelece 4 períodos para cálculo das taxas de ventilação (0-6h, 6-12h, 12-18h, 18-24h), não sendo possível alterar a ventilação hora a hora. A partir do resultado obtido nesta rodada se definiu que a ventilação de verão das demais simulações seria apenas no período das 0h às 6h.

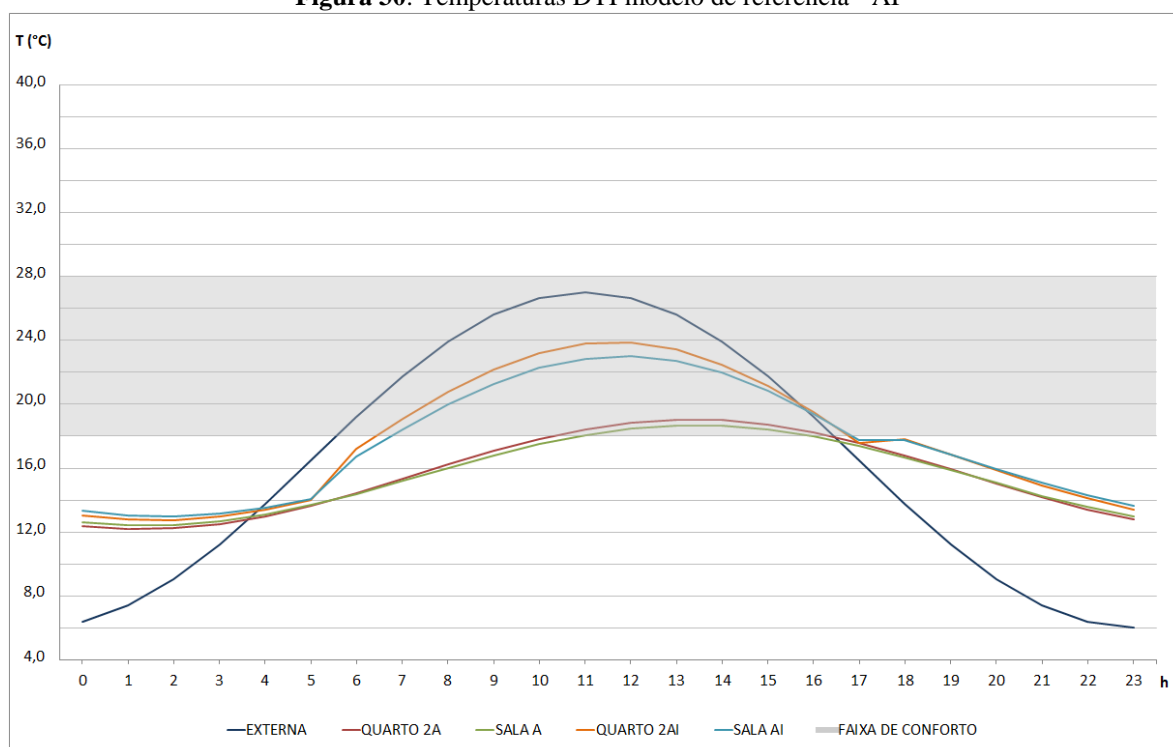
Na análise anual desta composição consideraram-se apenas as temperaturas que excederam 28°C , ou seja, aquelas que indicam desconforto por calor segundo Givoni (1992). Isto ocorreu devido à forma como os dados são calculados pelo MESTRE, que entende as taxas de ventilação para simulação anual como fixas para as 8760 horas do ano. O mesmo ocorreu nas demais simulações de inverno e verão. Os valores anotados nesta rodada constam no Quadro 16.

Quadro 16: Resultados simulação AV modelo de referência

Modelo de Referência		
Desocupada	Ventilação noturna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	76 (0,9%)	44 (0,5%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Apesar de não haver indicação no diagrama bioclimático ou na literatura para ventilação natural no inverno, optou-se por verificar o seu efeito quando as temperaturas externas encontram-se maiores que as internas. Assim, na rodada AI foi inserida a ventilação natural no período diurno (6-12h e 12-18h). Os dados foram plotados no gráfico apresentado na Figura 30.

Figura 30: Temperaturas DTI modelo de referência - AI

Fonte: Primária (2014)

Percebe-se nos resultados que o implemento da ventilação diurna acarreta uma elevação das temperaturas no inverno. É importante expressar que esse fenômeno só ocorre quando as temperaturas externas estão elevadas por conta da radiação solar. Assim, para DTI, averiguou-se um decréscimo nas horas de desconforto por frio, de 18 para 14 horas no dormitório e de 19 para 14 horas na sala. A T_{imim} também sofreu elevação, passando de 12,2°C para 12,8°C no quarto 2 e de 12,4°C para 13,0°C na sala. Mas, a melhora mais significativa foi observada nas T_{imax} , que se elevaram em 4,8°C e 4,4°C. Por tanto, o caso base com implemento de ventilação diurna para estações frias obteve o nível de desempenho intermediário para o quarto 2 ($T_{imim} 6,8^{\circ}\text{C} > T_{emin}$) e superior para a sala ($T_{imim} 7,0^{\circ}\text{C} > T_{emin}$). Na simulação anual foram identificadas 2262 e 2413 horas de desconforto por frio e, como explicado acima, não foram consideradas as horas de desconforto por calor. O resumo dos resultados dessa rodada encontra-se no Quadro 17.

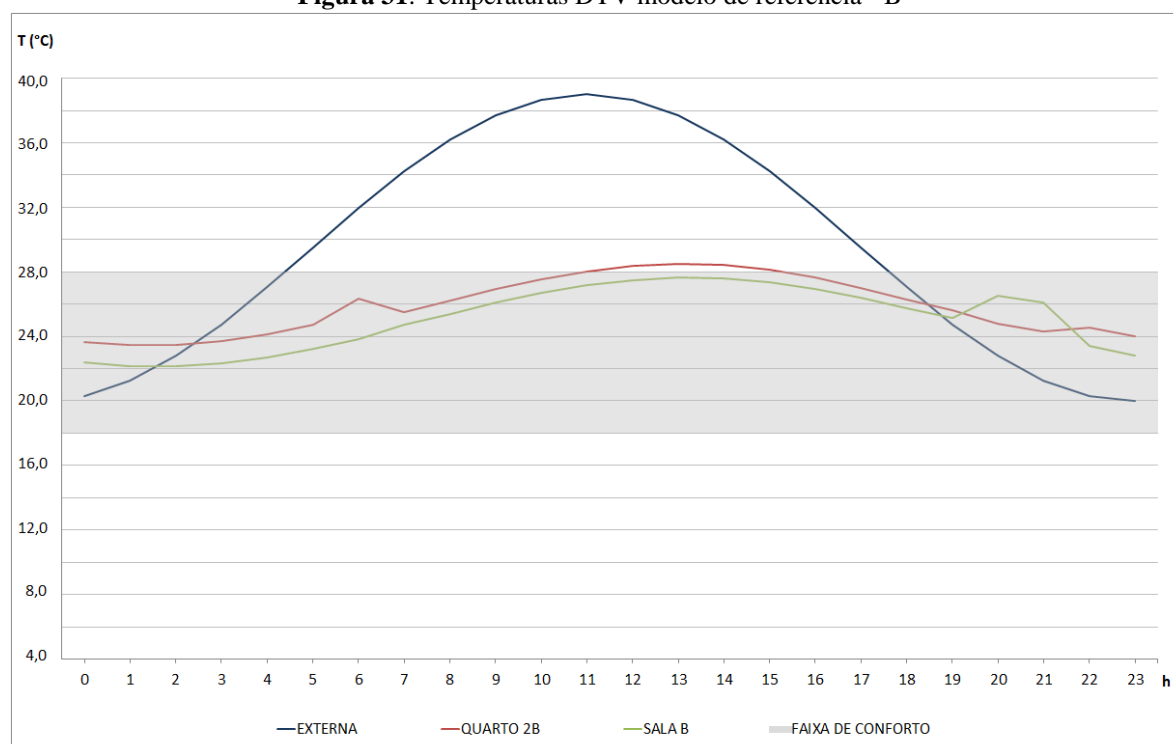
Quadro 17: Resultados simulação AI modelo de referência

Modelo de Referência		
Desocupada	Ventilação diurna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	2262 (25,8%)	2413 (27,6%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	Intermediário	Superior

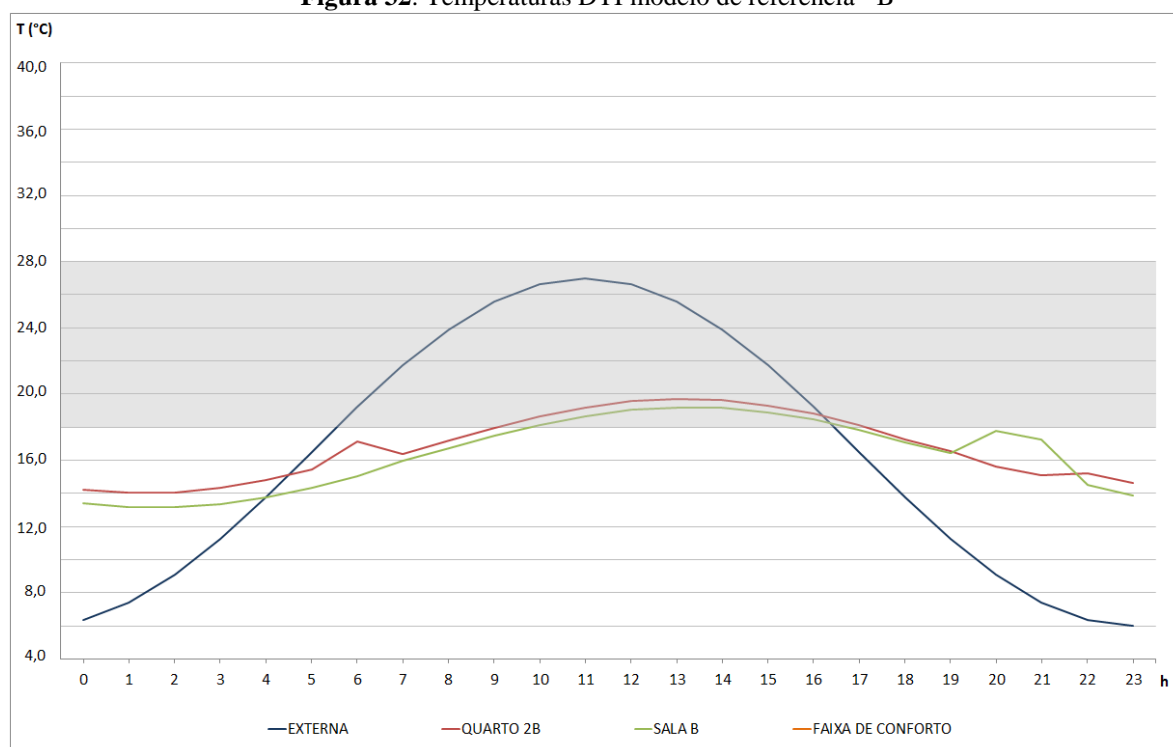
Fonte: Primária (2014)

Para verificar qual seria o período de ventilação diurna para inverno mais eficaz, entre aqueles considerados pelo MESTRE, realizou-se 2 simulações teste para DTI. No experimento identificou-se que o aumento da taxa de ventilação no período das 6h às 12h apresentou melhores resultados (menos horas de desconforto). Assim, esse foi o horário considerado para as demais simulações nos dias frios.

A última rodada de experimentação realizada para o modelo de referência considerou a UH ocupada. Isso significou incluir o calor gerado por moradores e equipamentos, conforme mencionado no item 5.1.1. Os gráficos constantes nas Figuras 31 e 32 demonstram as temperaturas resultantes dessa conformação para DTV e DTI respectivamente.

Figura 31: Temperaturas DTV modelo de referência - B

Fonte: Primária (2014)

Figura 32: Temperaturas DTI modelo de referência - B

Fonte: Primária (2014)

Ao inserir fontes geradoras de calor à área interna da edificação foi observada a elevação das temperaturas nos dois ambientes representativos, tanto na simulação de DTV quanto de DTI. Este fato é bem vindo em dias frios, mas não é positivo nos dias quentes.

Os resultados obtidos na rodada B (com ocupação) para DTV mostram temperaturas acima do limite de conforto aqui utilizado (21% do período) no dormitório, diferente do que ocorreu na rodada A (sem ocupação). Ainda assim, o modelo B mantém o nível de desempenho superior para verão. No resultado anual dessa composição foram computadas 1 hora de desconforto por calor no quarto 2 e 11 horas na sala, o que representa menos 1% do período (Quadro 17). A diferença de resultados entre a simulação de um dia específico e anual deve-se às fórmulas de cálculo das temperaturas, onde, para os dados de um dia, considera-se uma temperatura inicial hipotética.

No caso do DTI, foi apurado desconforto por frio em 16 horas do dia no dormitório e 17 horas na sala. Comparado ao modelo sem ocupação, houve um aumento de 1,8°C na T_{imin} do quarto 2 e de 0,8°C na T_{imin} da sala. Com a elevação nas temperaturas mínimas dos ambientes representativos, o nível de desempenho passou de intermediário para superior (Quadro 18).

Quadro 18: Resultados simulação B modelo de referência

Modelo de Referência				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1783 (20,4%)	2396 (27,4%)	1 (0,01%)	11 (0,13%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

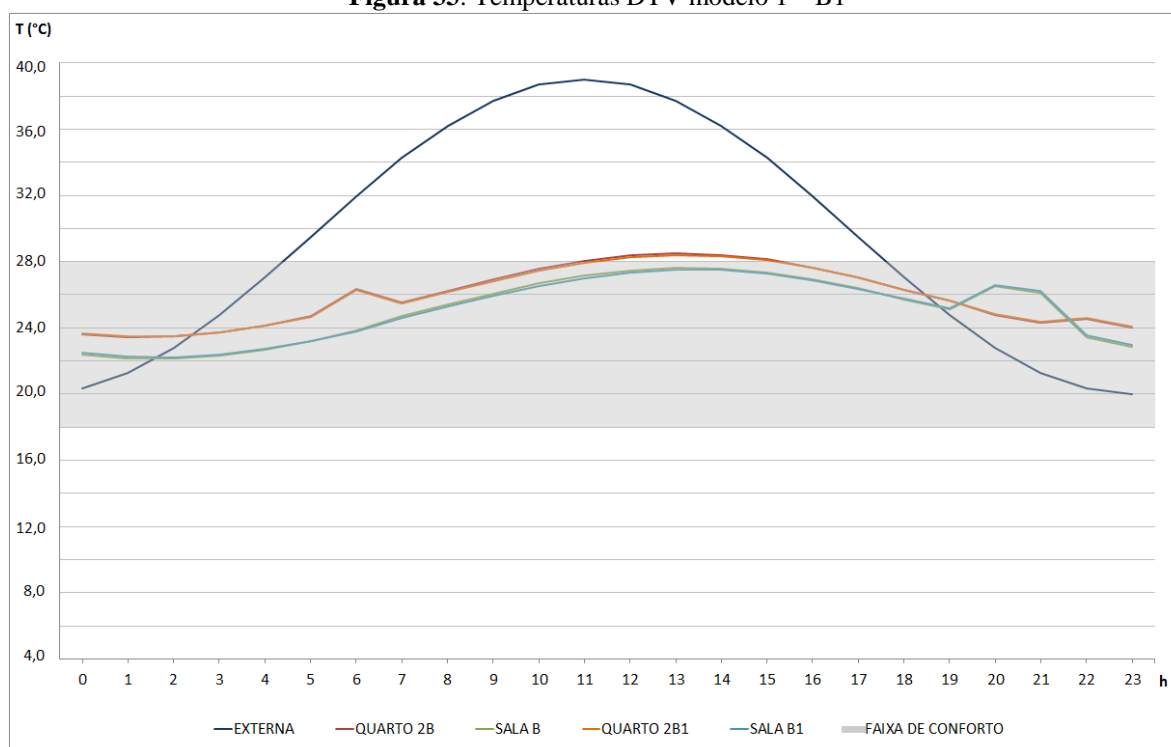
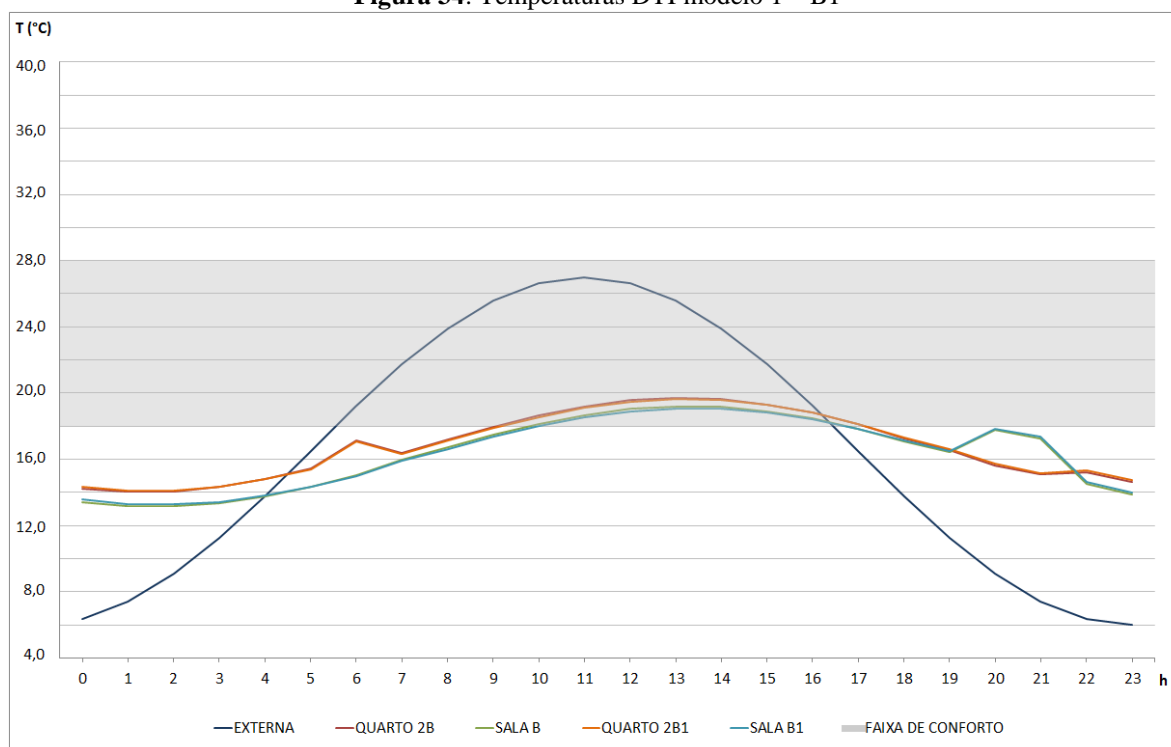
Os demais modelos experimentados neste estudo foram comparados com a rodada B do caso base, contemplando a ocupação da residência. Como comentado, este procedimento é o mais usual nas simulações térmicas de edificações, apesar de não ser o adotado pela norma brasileira de desempenho (NBR 15575/08).

7.2 Modelo 1

Conforme elucidado no item 5.1.2, a proposta do modelo 1 foi averiguar a influência do sombreamento das aberturas nas temperaturas internas da UH. Por tanto, nesta composição manteve-se as paredes externas e internas em alvenaria de tijolos cerâmicos (15cm), a cobertura com telhas cerâmicas, o forro em madeira e as esquadrias em madeira com vidro simples. A única alteração foi a inclusão de venezianas, tipo portuguesa, às janelas.

Como apurado nas simulações teste, o sombreamento das aberturas por si só não causa alteração nas temperaturas internas da edificação. Este fato pode ser justificado pela pequena representatividade da área das janelas diante do total exposto à radiação solar. Fato este que pôde ser comprovado quando simulado vidro em toda extensão da parede externa do quarto 2. Sendo assim, o modelo 1 foi experimentado apenas na configuração B1 – ocupada e com taxa de ventilação higiênica.

As Figuras 33 e 34 apresentam os resultados deste modelo, comparando-a com os dados da rodada B do caso base.

Figura 33: Temperaturas DTV modelo 1 – B1**Figura 34:** Temperaturas DTI modelo 1 – B1

É possível verificar nos gráficos acima que as alterações da rodada B para B1 são quase imperceptíveis, visto que as linhas ficam sobrepostas praticamente em todo percurso da curva. Apenas na simulação de DTV ocorreu uma diminuição nas horas de desconforto do

quarto 2, de 5 para 4 horas. Inversamente ao apurado nas experimentações dos dias típicos, na avaliação anual, a inserção de venezianas nas janelas refletiu em um acréscimo de 6 horas de desconforto por frio no dormitório e de 5 horas na sala. Com estes resultados, essa composição manteve nível superior de desempenho, tanto no inverno quanto no verão, nos dois ambientes analisados (Quadro 19).

Quadro 19: Resultados simulação B1 modelo 1

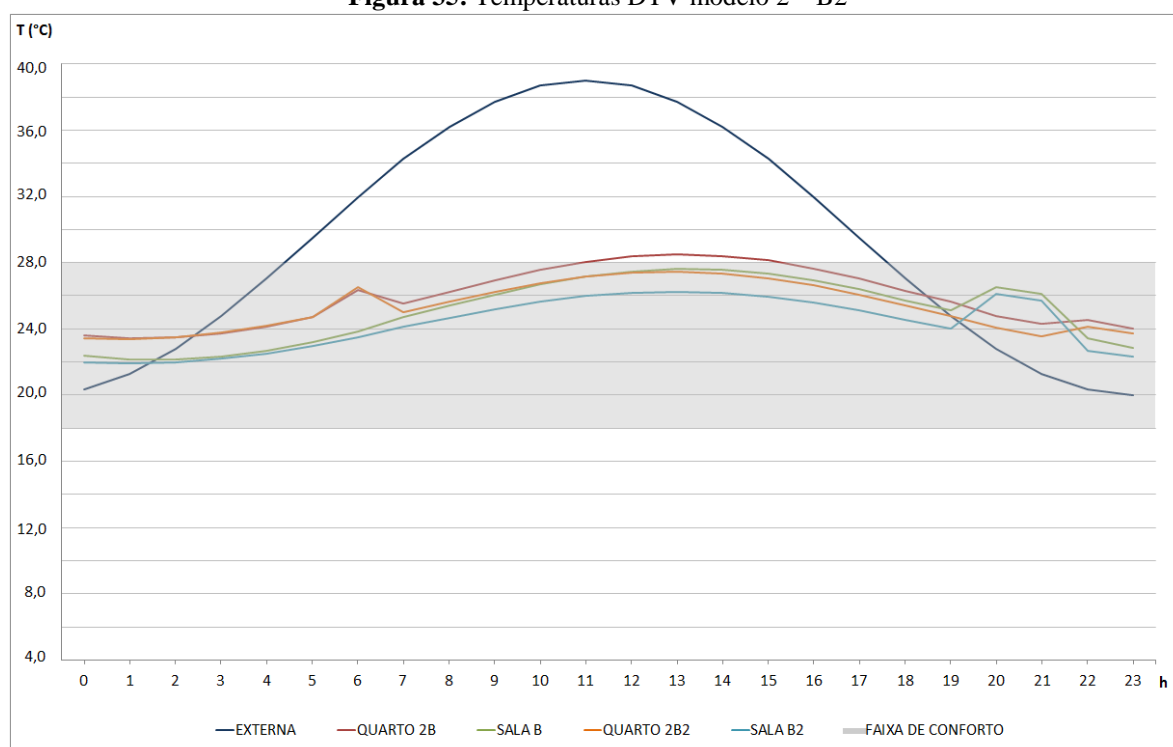
Modelo 1				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1789 (20,4%)	2401 (27,4%)	1 (0,01%)	11 (0,13%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

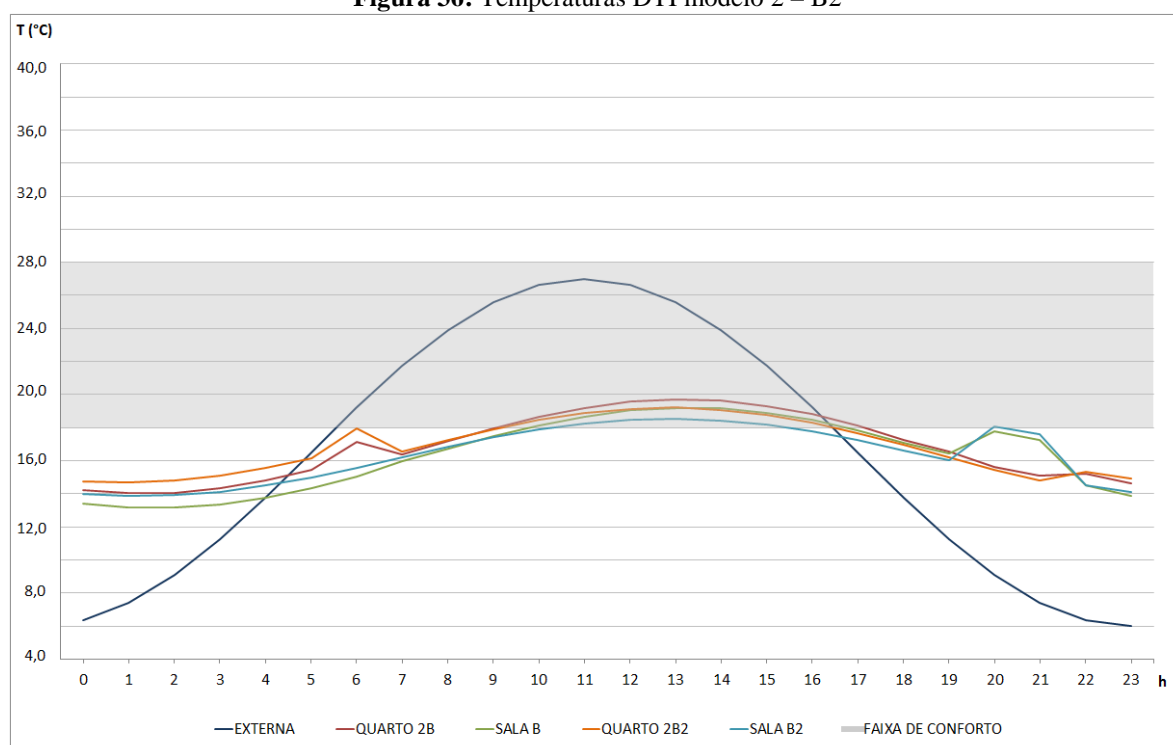
7.3 Modelo 2

O modelo 2 foi configurado para atender as recomendações da NBR 15220/03 para zona bioclimática que Joinville está inserida (ZB5). Sendo assim, o exemplar foi simulado com paredes externas de tijolos em pé (15cm), paredes internas em tijolos duplos deitados (36cm), esquadrias em madeira com vidro simples, laje mista (concreto e EPS) e cobertura de telhas cerâmicas.

Foram realizadas 2 rodadas de configurações para o modelo, ambas considerando a ocupação da residência e alterada apenas a taxa de ventilação. Na primeira experimentação manteve-se somente a ventilação higiênica (B2) e os resultados apresentam-se nas Figuras 35 e 36.

Figura 35: Temperaturas DTV modelo 2 – B2

Fonte: Primária (2014)

Figura 36: Temperaturas DTI modelo 2 – B2

Fonte: Primária (2014)

Na simulação de DTV verificou-se um resultado positivo, com a adequação das temperaturas do dormitório à faixa de conforto preconizada por Givoni (1992). Em relação à rodada B do caso base, a T_{imax} no quarto passou de 28,5°C para 27,5°C e a T_{imin} permaneceu

estável, 23,4°C. Já na sala a T_{imax} e a T_{imin} sofreram alterações, caindo 1,3°C e 0,3°C respectivamente. Na avaliação do DTI, apesar da manutenção das T_{imed} , houve um aumento nas horas de desconforto por frio em 1h tanto no quarto 2 quanto na sala. Constatou-se então que esta configuração teve efeito na diminuição da amplitude térmica, no inverno e no verão. Na avaliação de desempenho esta rodada do modelo 2 alcançou o nível superior para verão e inverno (Quadro 20).

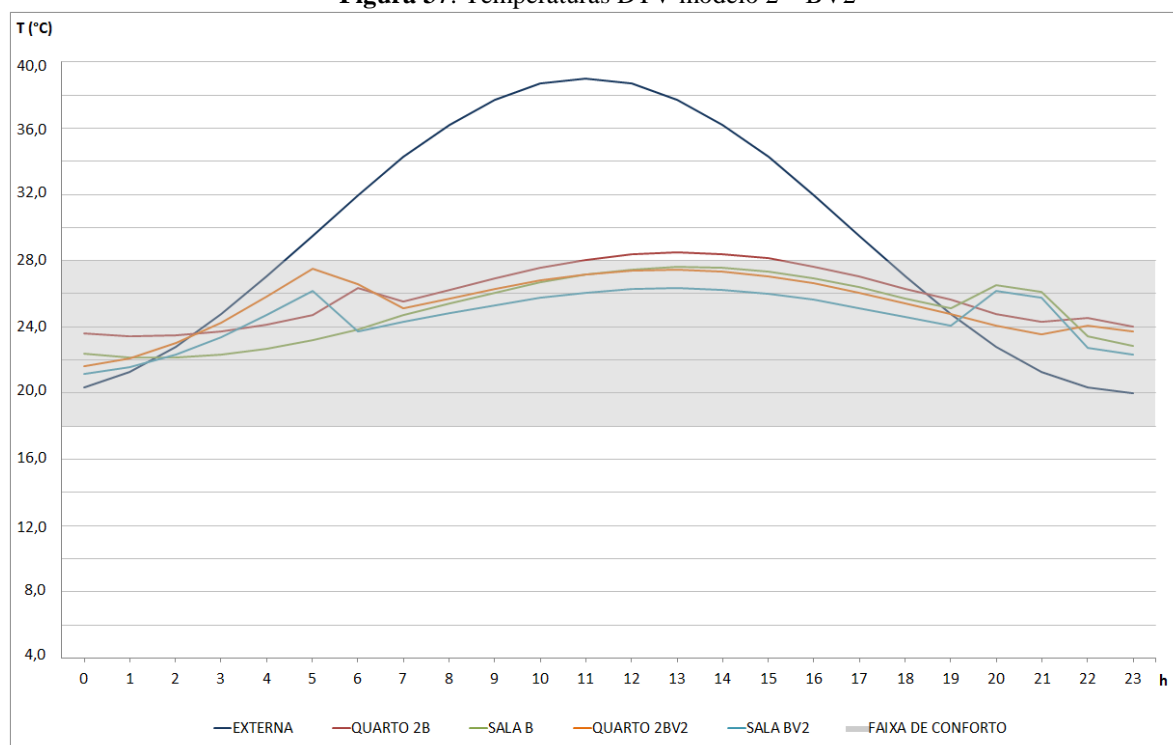
A experimentação anual evidenciou desconforto por calor apenas na sala, 4 horas (0,05% do período). O desconforto por frio no quarto 2 foi constatado em 22,1% das horas do ano (1938h) e na sala em 31,4% (2751h).

Quadro 20: Resultados simulação B2 modelo 2

Modelo 2				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1938 (22,1%)	2751 (31,4%)	0 (0,0%)	4 (0,05%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

A segunda e a terceira rodadas deste modelo tiveram o intuito de avaliar a influência da ventilação noturna no verão (das 0h às 6h) e a diurna no inverno (das 6h às 12h) nesta composição construtiva. A Figura 37 apresenta os valores das temperaturas da experimentação da ventilação de verão.

Figura 37: Temperaturas DTV modelo 2 – BV2

Fonte: Primária (2014)

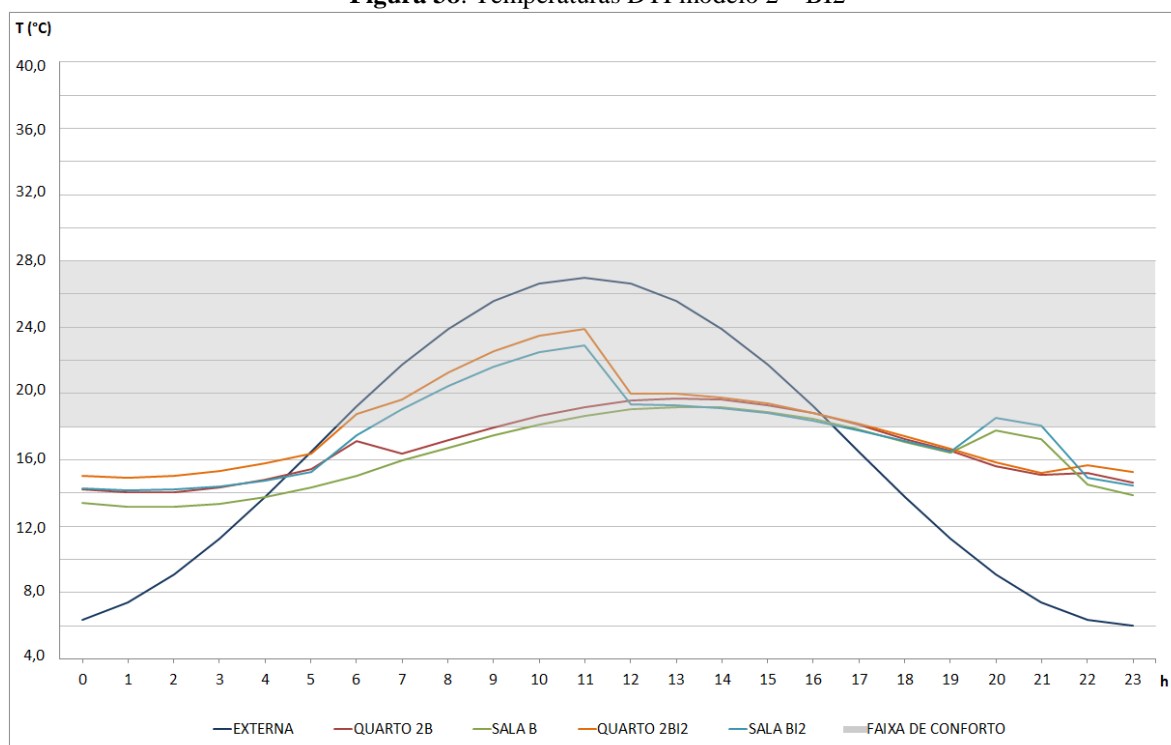
Apurou-se que o implemento da ventilação noturna neste caso teve resultado igual ao verificado na simulação B2 para as $T_{i\max}$, diminuindo apenas as $T_{i\min}$ dos ambientes representativos. Tanto a avaliação de horas de desconforto como do nível de desempenho permaneceram iguais às encontradas na rodada anterior (Quadro 21).

Quadro 21: Resultados simulação BV2 modelo 2

Modelo de Referência		
Desocupada	Ventilação noturna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	0 (0,0%)	4 (0,05%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Na rodada BI 2, com maior troca de calor com o ambiente externo no inverno, no período entre 6h e 12h, houve uma elevação nas temperaturas internas (Figura 38).

Figura 38: Temperaturas DTI modelo 2 – BI2

Fonte: Primária (2014)

A T_{imin} aumentou 0,9°C no dormitório e 1,0°C na sala em comparação com o modelo de referência com ocupação e ventilação higiênica. Mas o resultado mais expressivo foi constatado na elevação das T_{imax} – de 19,7°C para 23,9°C no quarto 2 e de 19,2°C para 22,9°C na sala. Com isso, o número de horas do dia de desconforto por frio baixou de 17 para 12 nos dois ambientes representativos. Na simulação anual, foi apurado um percentual de 23,5 do período de desconforto por frio no dormitório e de 30,9 na sala, como é possível verificar no Quadro 22.

Quadro 22: Resultados simulação BI2 modelo 2

Modelo de Referência		
Desocupada	Ventilação diurna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	2059 (23,5%)	2709 (30,9%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

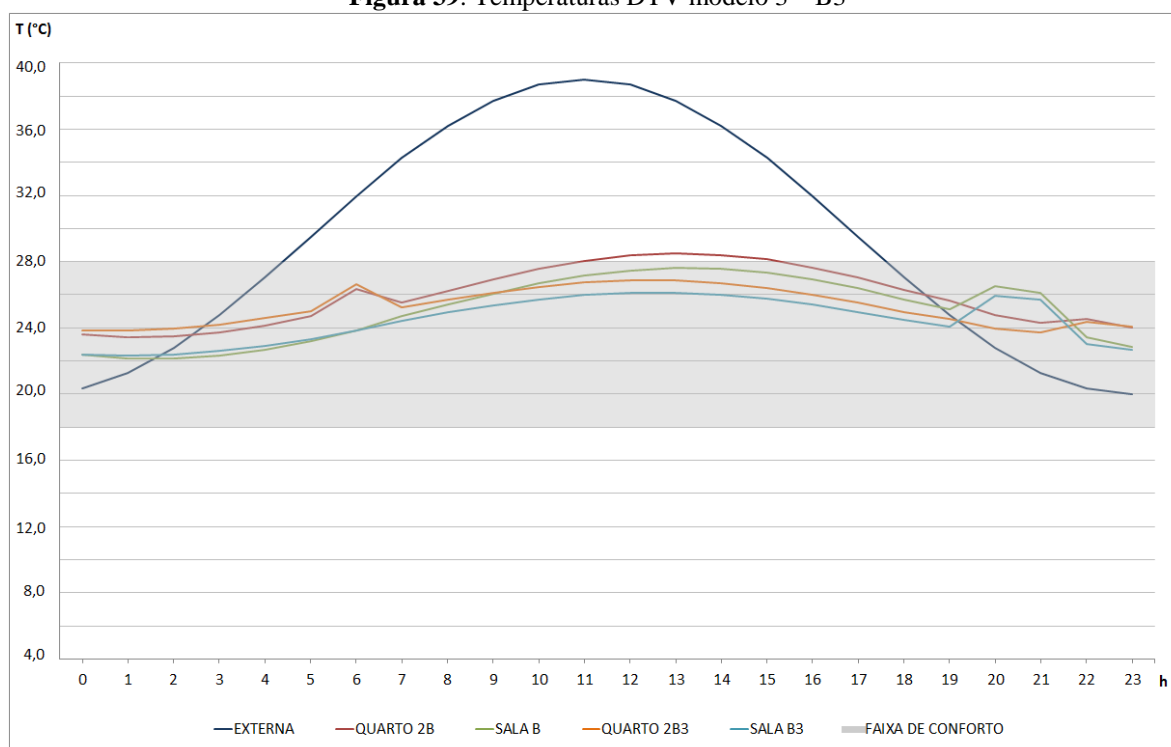
Fonte: Primária (2014)

7.4 Modelo 3

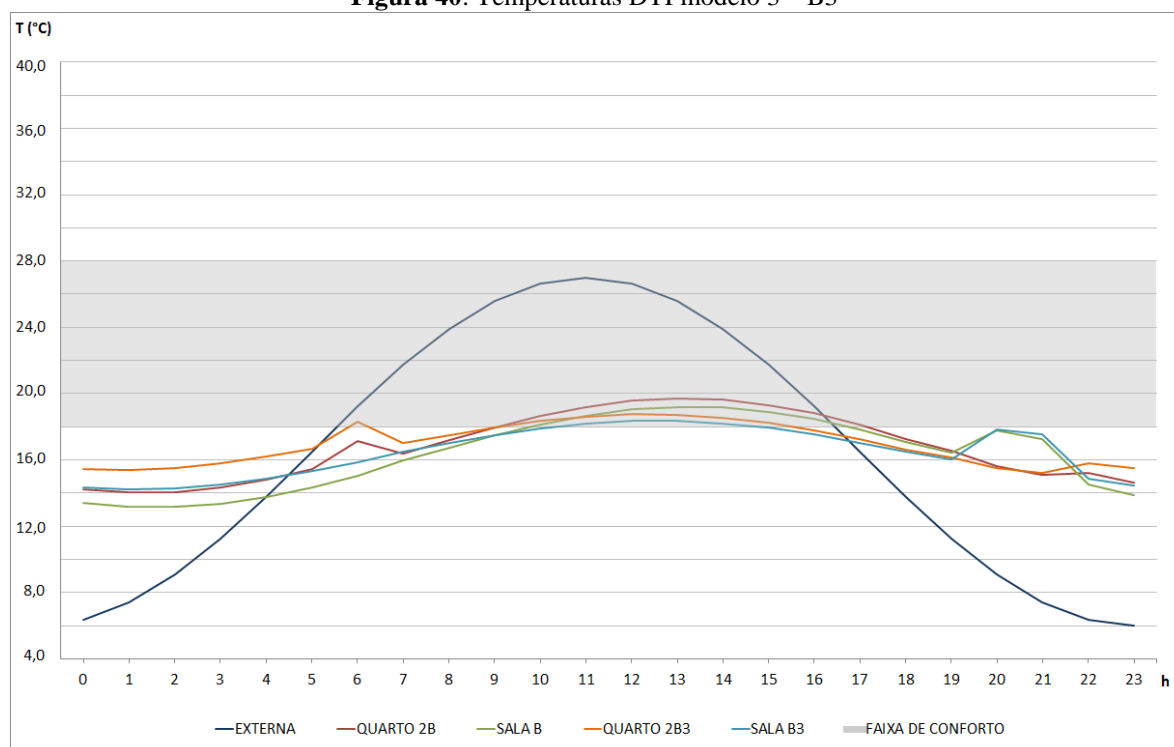
Para avaliar as estratégias passivas para conforto térmico indicadas na carta bioclimática de Joinville (alta inércia térmica e ventilação), o modelo 3 foi concebido por paredes externas duplas de tijolos deitados, paredes internas em tijolos deitados, esquadrias com vidro simples e sistema de cobertura composto por forro em madeira e telha cerâmica. Como citado, o uso de ventilação natural é solicitado para restaurar o conforto térmico em dias de calor e a alta inércia térmica é recomendada tanto para o inverno quanto para o verão, sendo que no primeiro caso deve estar associado ao aquecimento solar.

Por tanto este modelo foi simulado em duas rodadas, com taxa de ventilação higiênica (B2) e ventilação de verão (BV2). Resultados positivos foram verificados na rodada B2 para DTV, mas o efeito no DTI foi inverso. Nas Figuras 39 e 40 encontram-se os valores resultantes da rodada B3 para os dias típicos de verão e inverno.

Figura 39: Temperaturas DTV modelo 3 – B3



Fonte: Primária (2014)

Figura 40: Temperaturas DTI modelo 3 – B3

Fonte: Primária (2014)

É possível observar no gráfico do DTV que esta composição construtiva tem efeito na no amortecimento das temperaturas internas. A T_{imax} do quarto 2 sofreu um decréscimo de $1,6^{\circ}\text{C}$ comparada a apresentada no caso base B, e a da sala decresceu $1,5^{\circ}\text{C}$. Como consequência, as temperaturas dos ambientes representativos permanecem sempre dentro da faixa de conforto. O resultado da simulação anual também demonstra essa mesma implicação, mas revela 3 horas de desconforto por calor na sala, com T_{imax} registrada de $28,1^{\circ}\text{C}$.

Apesar da melhora constatada na estação quente, houve uma piora significativa nas temperaturas nos dias frios (Figura 41). Embora tenha ocorrido a elevação das T_{imin} (em $1,2^{\circ}\text{C}$ e $1,1^{\circ}\text{C}$), na avaliação da simulação de DTI, o número de horas desconforto no dormitório passou de 16 para 17 e na sala de 17 para 20. Esse efeito sucedeu por conta da queda das T_{imax} , de $1,0^{\circ}\text{C}$ e $0,9^{\circ}\text{C}$. Esse mesmo reflexo foi verificado na experimentação anual, onde foram registradas 1790 horas de desconforto por frio no quarto 2 e 2566 horas na sala.

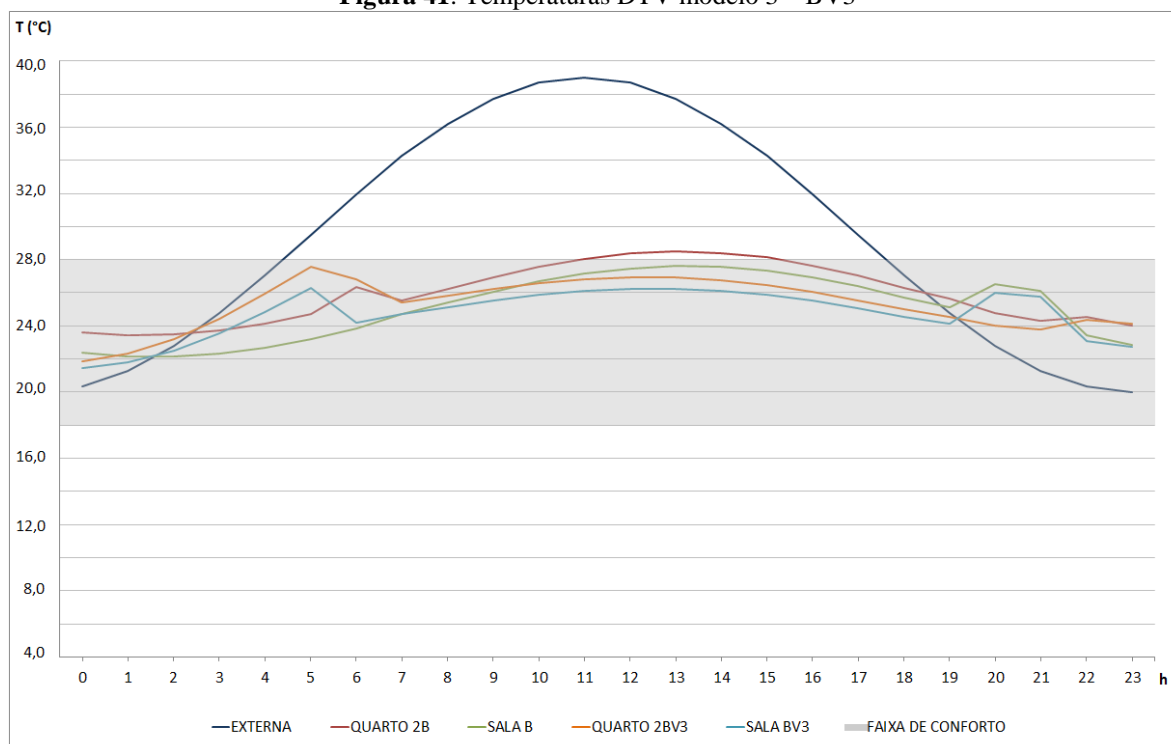
Com relação à consideração de desempenho indicado na NBR 15575/08, chegou-se no nível superior tanto para DTV quanto para DTI (Quadro 23).

Quadro 23: Resultados simulação B3 modelo 3

Modelo 3				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1790 (20,4%)	2566 (29,3%)	0 (0,0%)	1 (0,01%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Na segunda rodada deste modelo foi incluída a ventilação noturna no verão e seus resultados constam na Figura 41.

Figura 41: Temperaturas DTV modelo 3 – BV3

Fonte: Primária (2014)

Com a maior troca de ar com ambiente externo durante parte da noite, identificou-se uma pequena elevação nas temperaturas máximas dos ambientes representativos, na análise do DTV. Não foram verificadas horas acima do limite de conforto em ambos os cômodos na simulação de um dia de verão. Já na avaliação anual verificaram-se apenas 3 horas de desconforto na sala e o nível de desempenho para rodada BV3 permaneceu superior (Quadro 24).

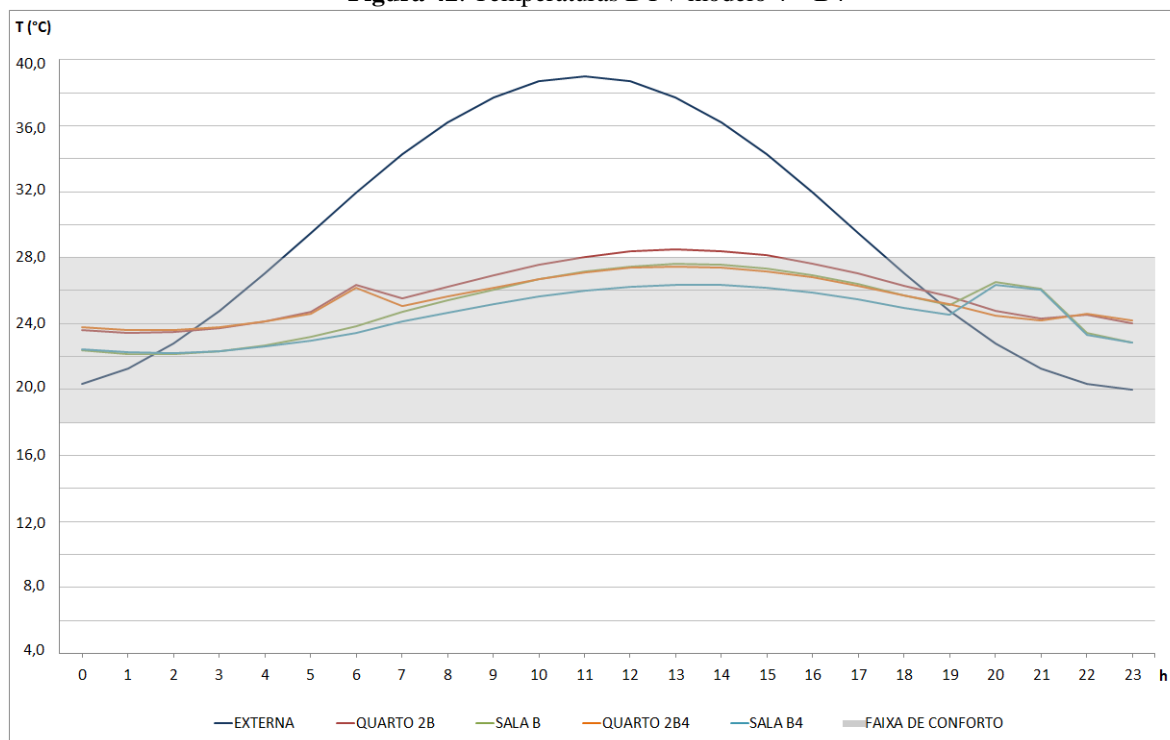
Quadro 24: Resultados simulação BV3 modelo 3

Modelo 3		
Desocupada	Ventilação noturna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	0 (0,0%)	3 (0,03%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

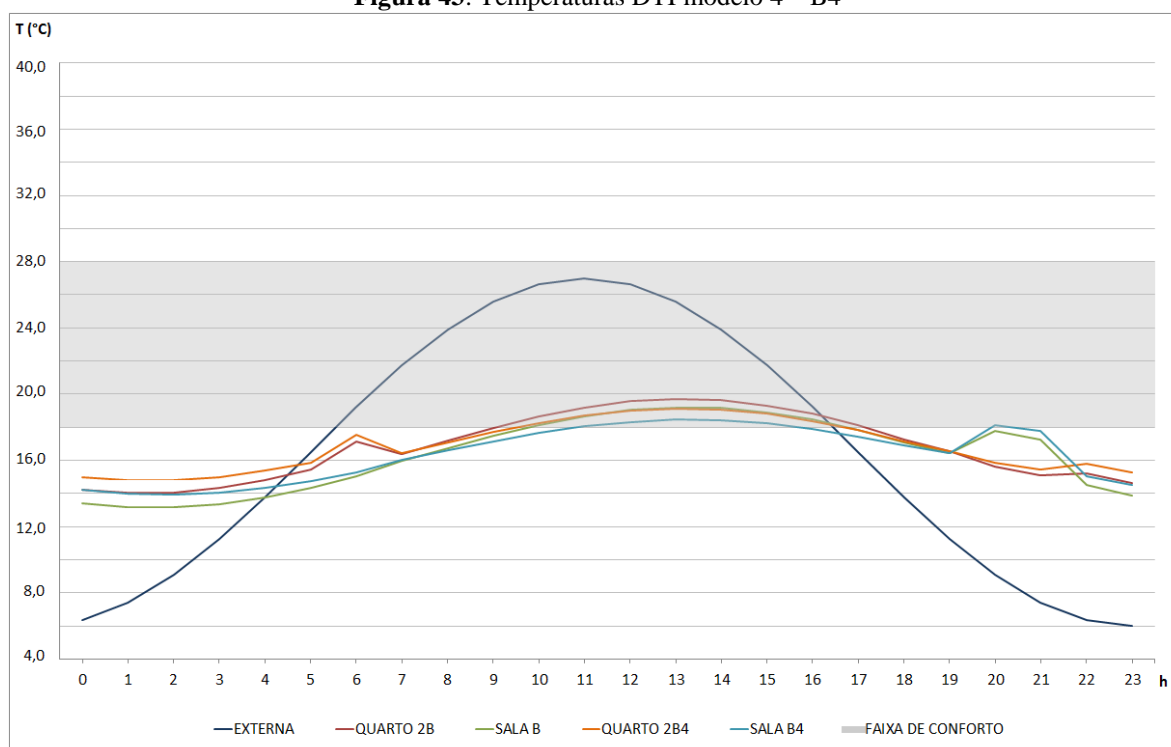
Fonte: Primária (2014)

7.5 Modelo 4

Após a análise dos valores das temperaturas dos ambientes representativos resultantes das simulações do caso base e dos modelos 2 e 3, foi definida a investigação da influência da laje mista de maneira isolada. Assim, o quarto exemplar difere-se do modelo de referência somente pela presença da laje de concreto e EPS ao invés do forro de madeira. Essa substituição na cobertura gerou um decréscimo nas temperaturas, como pode ser verificado nas Figuras 42 e 43.

Figura 42: Temperaturas DTV modelo 4 – B4

Fonte: Primária (2014)

Figura 43: Temperaturas DTI modelo 4 – B4

Fonte: Primária (2014)

A consequência da queda das temperaturas no DTV foi positiva, pois, ao contrário do que ocorreu no caso base B, não foram identificadas horas de desconforto por calor no dormitório. Em decorrência do mesmo efeito, na avaliação do DTI, as horas de desconforto por frio sofreram aumento 4% nos dois ambientes estudados. Os índices de desempenho mantiveram-se no mesmo patamar da rodada B (Quadro 25). A simulação das 8760 horas do ano de 2011 apresentou como resultado 1757 horas de desconforto por frio no quarto 2 e 2526 na sala e somente 5 horas de desconforto por calor na sala.

Quadro 25: Resultados simulação B4 modelo 4

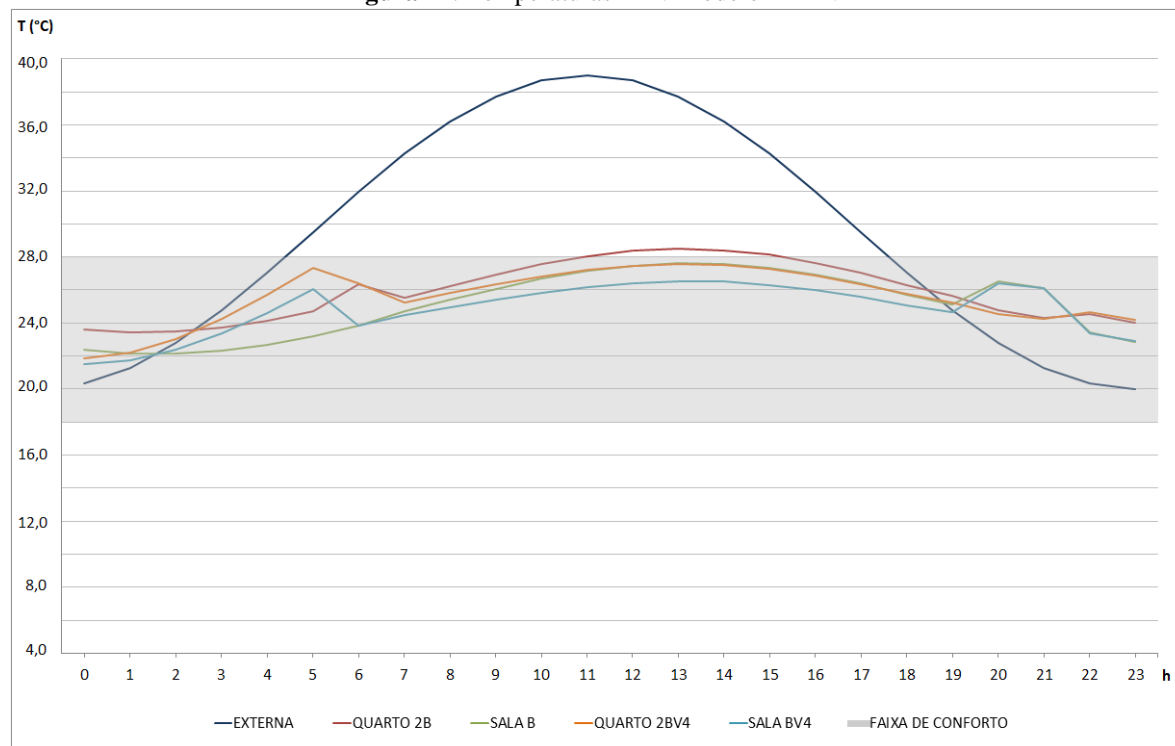
Modelo 4				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1757 (20,1%)	2526 (28,8%)	0 (0,0%)	5 (0,06%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Em seguida foi simulada a ventilação de verão (BV4). Nessa rodada para DTV não foi identificada nenhuma hora fora do limite de conforto (Figura 44). Já na avaliação anual foram

identificadas horas de desconforto por calor, 1 hora no quarto 2 e 4 na sala. O nível de desempenho de verão permaneceu o mesmo da rodada anterior (Quadro 26).

Figura 44: Temperaturas DTV modelo 4 – BV4



Fonte: Primária (2014)

Quadro 26: Resultados simulação BV4 modelo 4

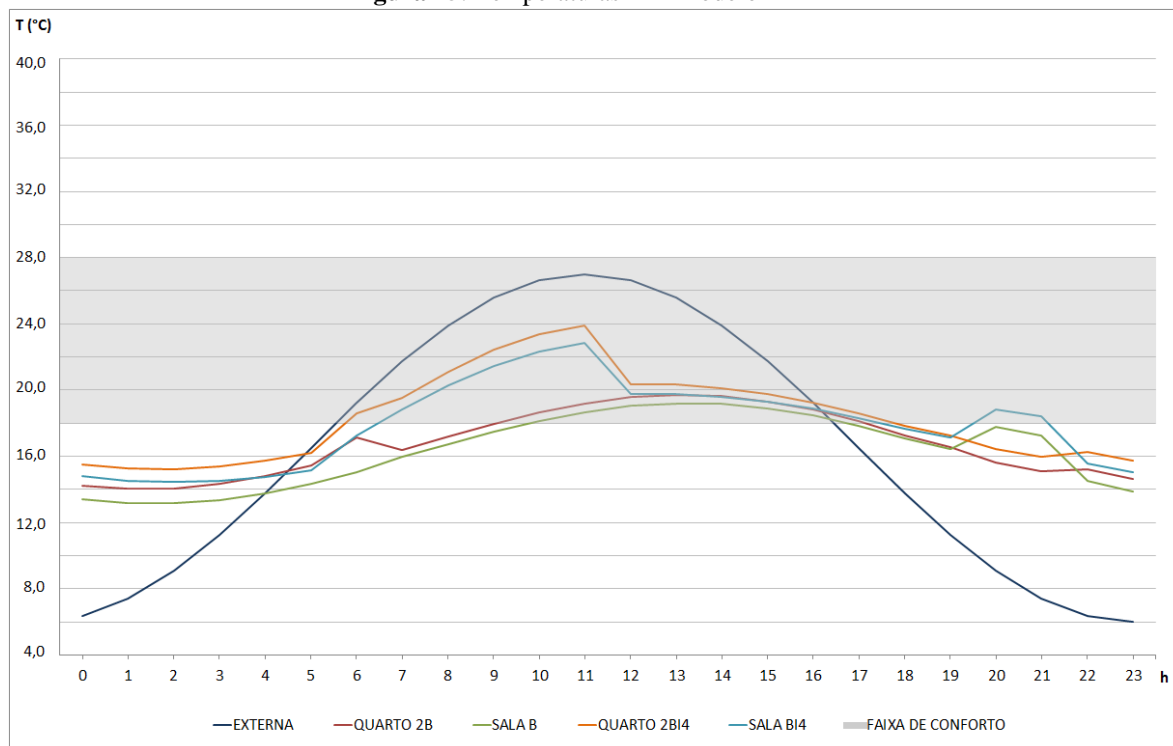
Modelo 4		
Desocupada	Ventilação noturna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	1 (0,01%)	4 (0,05%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

A última rodada deste modelo foi realizada com o implemento da ventilação natural no inverno (das 6h às 12h). O uso de laje isolada mais ventilação diurna (quando as temperaturas externas são superiores às internas) trouxe uma queda nas horas de desconforto por frio. Em metade do período diário foram registradas temperaturas inferiores à 18,0°C no dormitório e a T_{imim} ficou em 15,2°C. Na sala o resultado foi melhor, com 46% (11h) das

horas do dia abaixo da faixa de conforto, apesar da T_{mim} ter alcançado 14,5°C. Estes valores constam no gráfico da Figura 45.

Figura 45: Temperaturas DTI modelo 4 – BI4



Fonte: Primária (2014)

A simulação anual não apresentou dados tão satisfatórios. Em 22,4% do período foram verificadas horas de desconforto por frio no dormitório e na sala o mesmo ocorreu em 29,1% do tempo avaliado. No Quadro 27 consta o nível de desempenho dessa rodada segundo a NBR 15575/08.

Quadro 27: Resultados simulação BI4 modelo 4

Modelo 4		
Desocupada	Ventilação diurna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	1965 (22,4%)	2548 (29,1%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

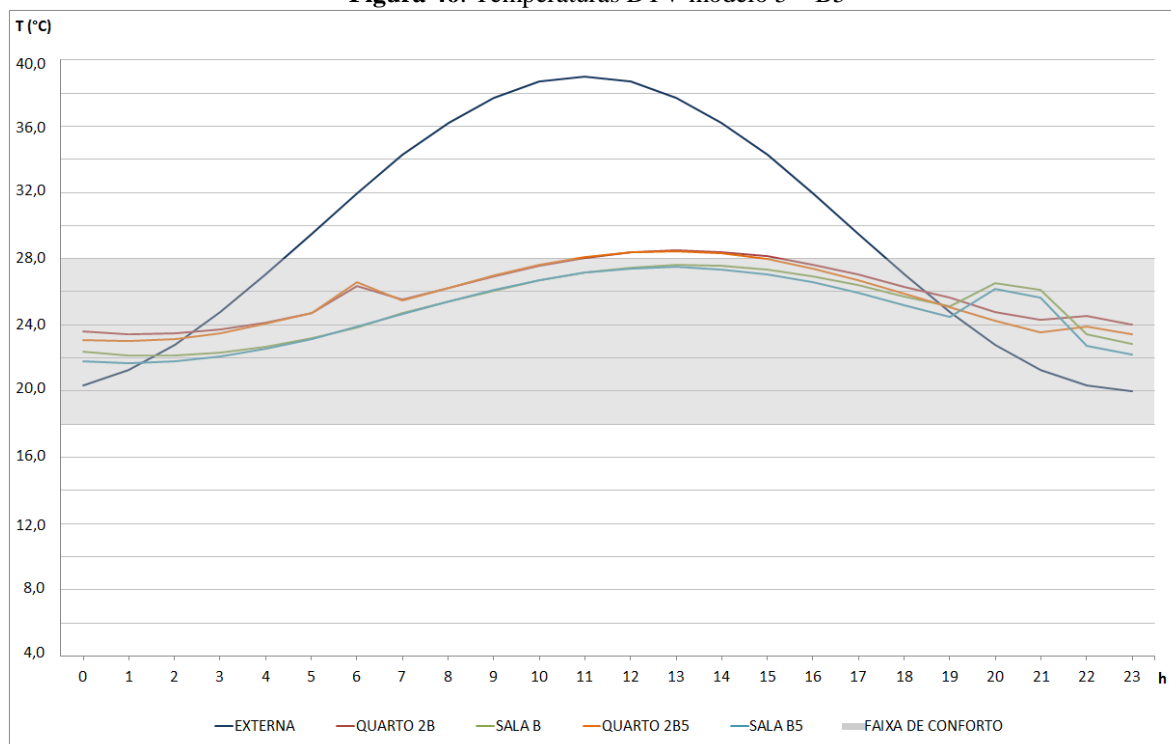
Fonte: Primária (2014)

7.6 Modelo 5

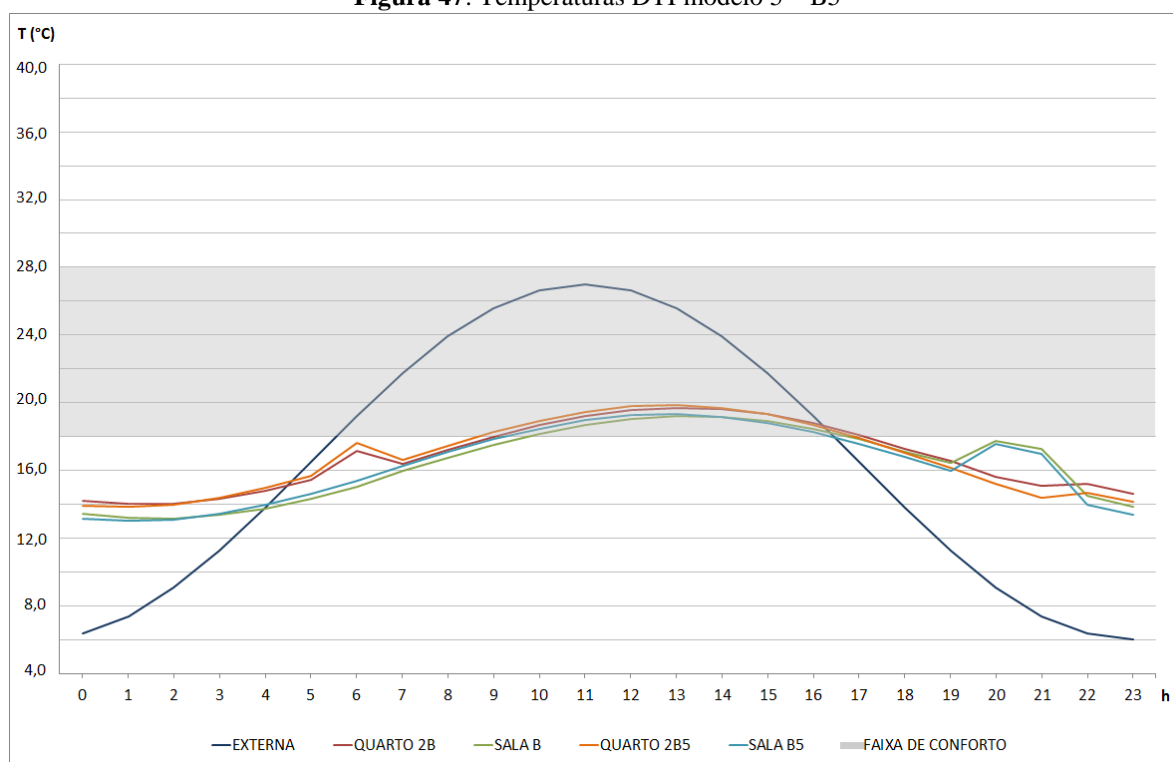
A proposta do quinto modelo foi investigar o efeito isolado da aplicação de alta inércia térmica nas paredes internas. Por tanto, neste exemplar manteve-se o sistema de cobertura (forro de madeira), a configuração das paredes externas (tijolos cerâmicos em pé, 15cm) e das esquadrias do caso base, substituindo-se apenas as paredes internas por alvenaria de tijolos duplos deitados (36 cm).

As Figuras 46 e 47 demonstram os valores resultantes das temperaturas dos cômodos representativos do modelo de referência e do modelo 5, ambos na rodada B – ocupada e com taxa de ventilação higiênica, para DTV e DTI.

Figura 46: Temperaturas DTV modelo 5 – B5



Fonte: Primária (2014)

Figura 47: Temperaturas DTI modelo 5 – B5

Fonte: Primária (2014)

No verão, a composição do modelo 5 evidenciou uma queda pouco significativa das temperaturas. No dormitório houve uma redução de 1 hora no desconforto por calor e na sala as temperaturas mantiveram-se dentro dos limites de conforto. A T_{imax} registrada no DTV foi de 28,5°C e a T_{imim} de 21,7°C, no quarto e na sala respectivamente. Na avaliação da simulação de inverno percebe-se que as temperaturas se mantêm praticamente as mesmas do caso base e, com isso, o período do dia fora da faixa de conforto permanece inalterado. A média das temperaturas dos cômodos estudados no inverno ficou na casa dos 16°C e a T_{imim} apurada foi de 13,0°C, na sala.

A simulação do ano de 2011 indicou 11 horas de desconforto por calor na sala e nenhuma no quarto 2. Considerando o desconforto por frio, foram identificadas 1898 horas no dormitório e 2578 horas na sala. Ao contrário do que ocorreu na experimentação do DTV e do DTI, na análise anual a T_{imax} registrada foi de 30,9°C e a T_{imim} de 7,2°C, ambas no dormitório representativo.

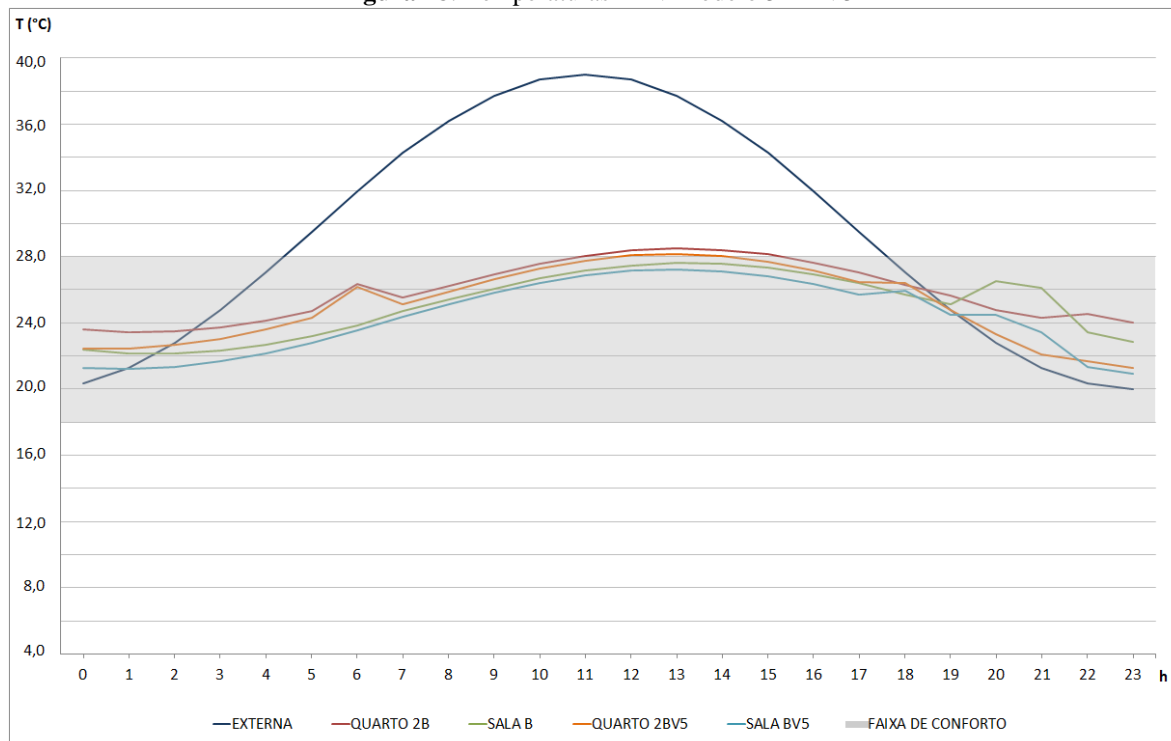
O Quadro 28 apresenta, além das horas de desconforto, os níveis alcançados pelo modelo 5 tanto no inverno como no verão.

Quadro 28: Resultados simulação B5 modelo 5

Modelo 5				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1898 (21,7%)	2578 (29,4%)	0 (0,0%)	11 (0,13%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Essa composição construtiva também foi simulada com ventilação natural noturna para DTV – rodada BV5. Percebe-se no gráfico da Figura 48 que a curva da temperatura do quarto 2 fica mais próxima da faixa de conforto, diminuindo de 5 para 3 o número de horas de desconforto. Neste cômodo a T_{imax} caiu 0,3°C e a T_{imim} 2,1°C, em comparação com a rodada B do caso base. Na sala, para mesma comparação, o decréscimo é de 0,4°C na T_{imax} e 1,3°C na T_{imim} .

Figura 48: Temperaturas DTV modelo 5 – BV5

Fonte: Primária (2014)

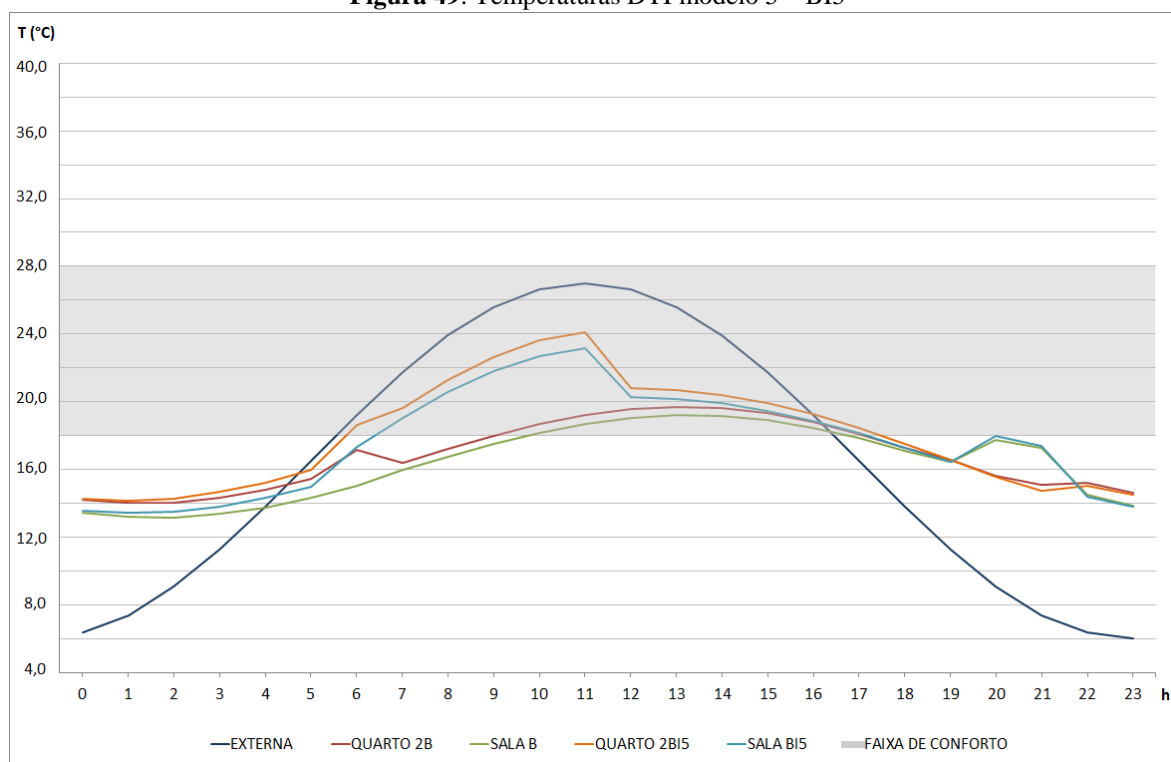
Ao se avaliar os resultados obtidos na experimentação anual percebeu-se um efeito muito próximo aos apresentados na rodada B5. Os resultados da simulação BV5 estão resumidos no Quadro 29.

Quadro 29: Resultados simulação BV5 modelo 5

Modelo 5		
Desocupada	Ventilação noturna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	1 (0,01%)	10 (0,11%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Para compreender o efeito da ventilação natural diurna para inverno no modelo 5, foi realizada a rodada BI5, cujos resultados estão apresentados na Figura 49.

Figura 49: Temperaturas DTI modelo 5 – BI5

Fonte: Primária (2014)

Na análise do DTI foi verificada uma melhora acentuada no conforto, tanto no dormitório quanto na sala. Com relação ao caso base, com ocupação e ventilação higiênica, houve um decréscimo de 4 horas de desconforto por frio nos dois ambientes representativos. A T_{imim} registra foi de 13,4°C na sala e a T_{imax} de 24,1°C no quarto 2. Assim, o nível de desempenho da rodada permaneceu superior (Quadro 30). Os valores de horas de desconforto por frio anotadas na simulação anual foram de 1988 horas no dormitório e 2539 horas na sala.

Quadro 30: Resultados simulação BI5 modelo 5

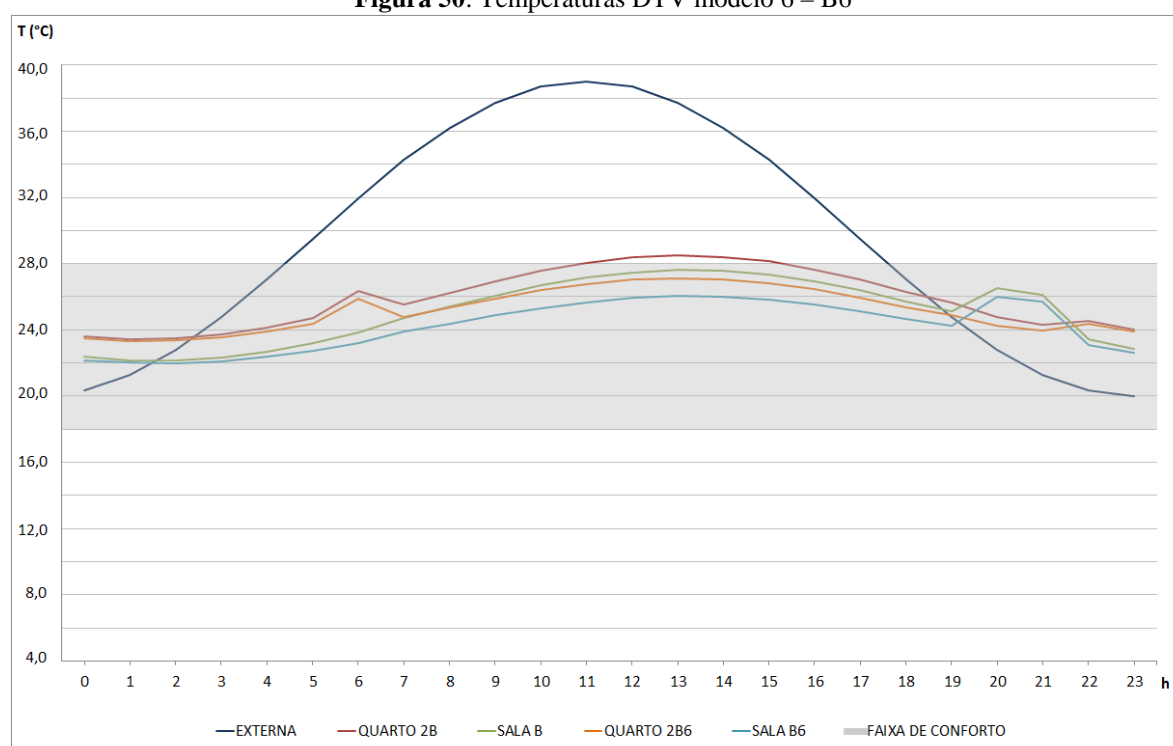
Modelo 5		
Desocupada	Ventilação diurna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	1988 (22,7%)	2539 (29,0%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

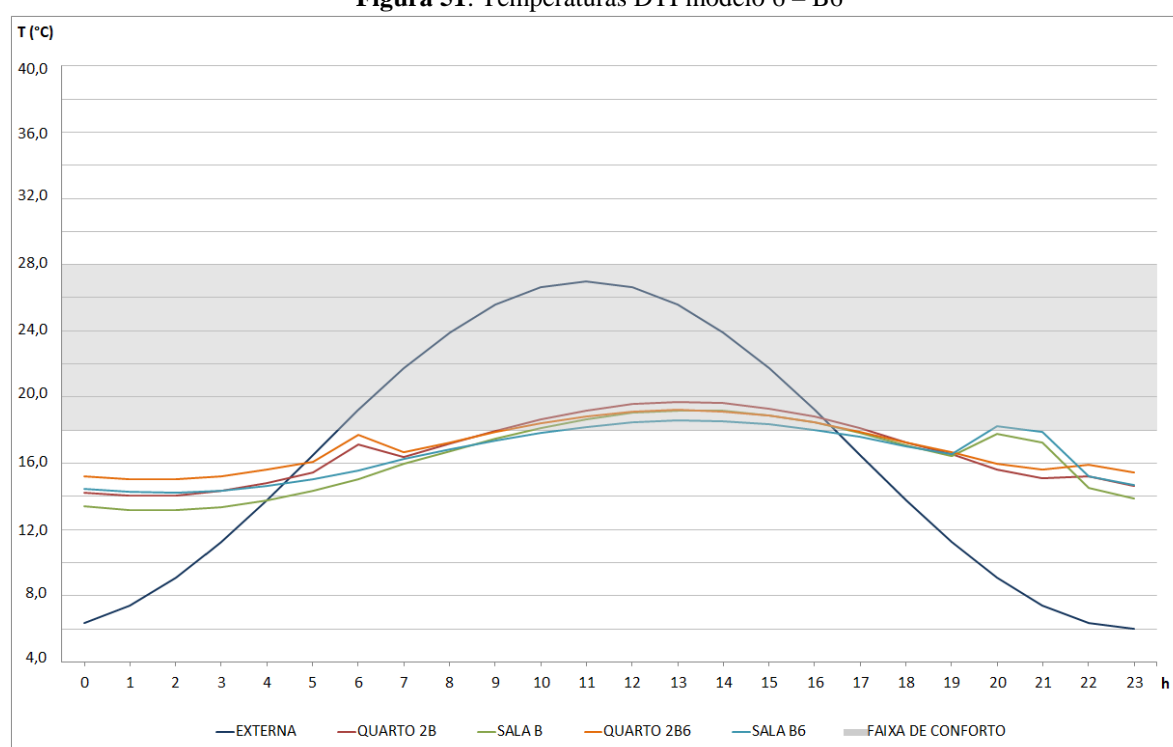
7.7 Modelo 6

Conforme citado no item 5.1.7, o último modelo simulado objetivou demonstrar a influência nas temperaturas internas com o uso do teto verde na unidade habitacional em estudo. Na literatura há citações indicando que este sistema de cobertura auxilia no desempenho térmico das edificações. Sendo assim, o modelo 6 foi concebido com as mesmas características de vedação do caso base, substituindo-se o forro de madeira e o telhado de telhas cerâmicas por laje e cobertura verde, como especificado na Tabela 19 do item supra citado. Para os cálculos no MESTRE, foram consideradas apenas as camadas mais relevantes, ou seja, a laje de concreto, a impermeabilização, o isolamento de poliestireno extrudado, a drenagem de brita e seixo rolado e a camada de terra. A exclusão da camada de vegetação deve-se ao fato da grande quantidade de espécies de plantas possíveis de serem utilizadas em um teto verde. Além disso, é bastante complexo precisar as propriedades térmicas das plantas. Também é preciso compreender que a maior influência da vegetação está no sombreamento e na evapotranspiração da cobertura.

Os valores anotados na experimentação do modelo 6, rodada B (ocupada e com taxa de ventilação higiênica), estão apresentados nas Figuras 50 e 51.

Figura 50: Temperaturas DTV modelo 6 – B6

Fonte: Primária (2014)

Figura 51: Temperaturas DTI modelo 6 – B6

Fonte: Primária (2014)

Percebe-se pelo gráfico das temperaturas de DTV que houve uma queda das T_{imax} em relação à rodada B nos cômodos estudados. No dormitório o decréscimo registrado foi de 1,3°C e na sala foi de 1,5°C. A T_{imax} anotada alcançou 27,2°C (quarto 2) e a T_{imim} foi de

22,2°C (sala). Com isso, os valores das temperaturas em ambos os ambientes permaneceram dentro da faixa de conforto.

Na simulação de DTI, foi identificado que o armazenamento de calor pela cobertura, com a implantação do teto verde, fez elevar em 1 hora o desconforto por frio no quarto 2. Este efeito ocorreu por conta de pequenas quedas nas temperaturas, mesmo com o aumento significativo da T_{mim} (de 14,0°C para 15,0°C). Apesar de a mesma consequência ter sido verificada na sala, essa não influenciou nas horas de conforto térmico.

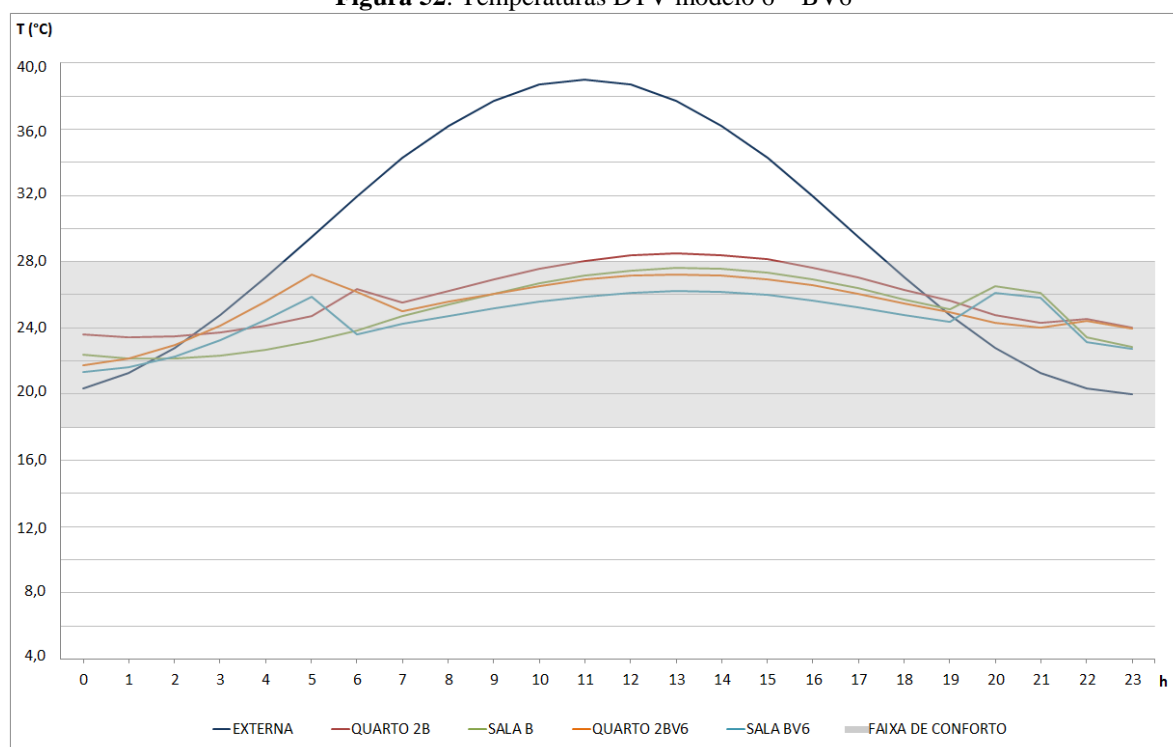
No Quadro 31 encontram-se os valores das horas de desconforto registradas na experimentação anual, além dos níveis de desempenho alcançados nas simulações de DTI e DTV.

Quadro 31: Resultados simulação B6 modelo 6

Modelo 6				
Ocupada	Ventilação higiênica			
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	1742 (19,9%)	2500 (28,5%)	0 (0,0%)	3 (0,03%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno		Verão	
	Quarto 2	Sala	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

Conforme a sequência realizada com os outros modelos, a composição construtiva com cobertura verde foi testada incluindo ventilação de verão (noturna) e a ventilação de inverno (diurna). Assim, tem-se na Figura 52 os resultados da simulação da rodada BV6 para DTV.

Figura 52: Temperaturas DTV modelo 6 – BV6

Fonte: Primária (2014)

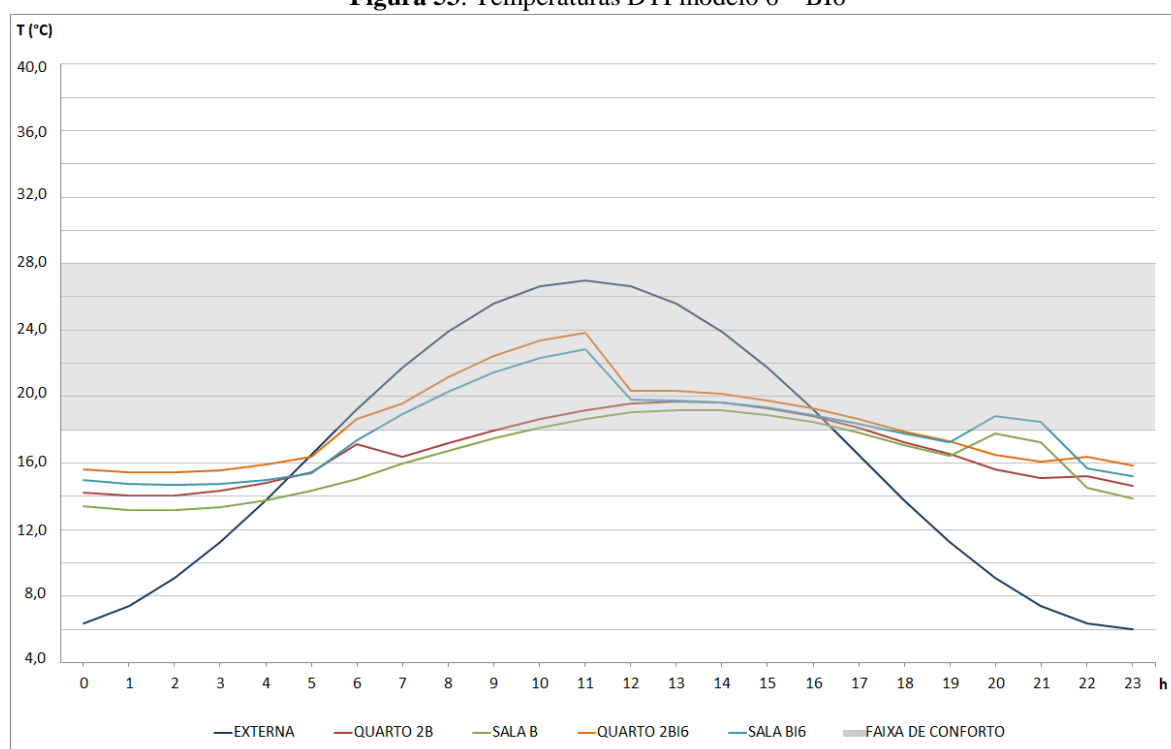
No gráfico acima se verificam valores de temperatura muito próximos aos encontrados na Figura 51 (rodada B6). A influência maior foi percebida na redução das T_{imim} dos dois cômodos (21,8°C e 21,5°C). Por tanto, o nível superior de desempenho foi mantido (Quadro 32). Com a análise anual identificou-se apenas 3 horas de desconforto por calor na sala.

Quadro 32: Resultados simulação BV6 modelo 6

Modelo 6		
Desocupada	Ventilação noturna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	0 (0,0%)	3 (0,03%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Verão	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

A associação do teto verde com ventilação diurna no inverno resultou em uma combinação positiva, principalmente na análise da simulação de DTI (Figura 53).

Figura 53: Temperaturas DTI modelo 6 – BI6

Fonte: Primária (2014)

Como é possível verificar na Figura 54, as temperaturas registradas estão mais próximas dos limites de conforto. Em relação ao caso base B, as horas de desconforto por frio no quarto 2 diminuíram de 16 para 12, e na sala de 17 para 11. A T_{imim} registrada foi de 14,8°C, na sala, e a T_{imax} foi de 23,9°C, quarto 2. Já na consideração das 8760 horas do ano de 2011, as temperaturas mínimas registradas foram 7,5°C no quarto 2 e 8,4°C na sala. As horas de desconforto anual e os níveis de desempenho constam no Quadro 33.

Quadro 33: Resultados simulação BI6 modelo 6

Modelo 6		
Desocupada	Ventilação diurna	
Faixa de conforto segundo Givoni (1992) (horas de desconforto)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	1944 (22,2%)	2535 (28,9%)
Faixa de desempenho segundo NBR 15575 (ABNT, 2008) (nível de desempenho)	Inverno	
	Quarto 2	Sala
	Superior	Superior

Fonte: Primária (2014)

7.8 Análise dos resultados

Para melhor compreensão dos resultados de todas as rodadas de simulação realizadas neste estudo, os mesmos foram agrupados no Quadro 34, onde:

- HD representa as horas de desconforto anual (de frio no inverno e de calor no verão) segundo os limites estipulados por Givoni (1992);
- ND representa o nível de desempenho preconizado na NBR 15575/08, para DTI e DTV.

Quadro 34: Resumo dos resultados das simulações

AMBIENTE	QUARTO 2		SALA	
	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO
MODELO DE REFERÊNCIA A	HD - 3053 (34,9%) ND - Intermediário	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	HD - 3274 (37,4%) ND - Intermediário	HD - 0 (0,0%) ND - Superior
MODELO DE REFERÊNCIA AV	- -	HD - 76 (0,9%) ND - Superior	- -	HD - 44 (0,5%) ND - Superior
MODELO DE REFERÊNCIA AI	HD - 2262 (25,8%) ND - Intermediário	- -	HD - 2413 (27,6%) ND - Superior	- -
MODELO DE REFERÊNCIA B	HD - 1783 (20,4%) ND - Superior	HD - 1 (0,01%) ND - Superior	HD - 2396 (27,4%) ND - Superior	HD - 11 (0,13%) ND - Superior
MODELO 1 B1	HD - 1789 (20,4%) ND - Superior	HD - 1 (0,01%) ND - Superior	HD - 2401 (27,4%) ND - Superior	HD - 11 (0,13%) ND - Superior
MODELO 2 B2	HD - 1938 (22,1%) ND - Superior	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	HD - 2751 (31,4%) ND - Superior	HD - 4 (0,05%) ND - Superior
MODELO 2 BV2	- -	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	- -	HD - 4 (0,05%) ND - Superior
MODELO 2 BI2	HD - 2059 (23,5%) ND - Superior	- -	HD - 2709 (30,9%) ND - Superior	- -
MODELO 3 B3	HD - 1790 (20,4%) ND - Superior	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	HD - 2566 (29,3%) ND - Superior	HD - 1 (0,01%) ND - Superior
MODELO 3 BV3	- -	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	- -	HD - 3 (0,03%) ND - Superior
MODELO 4 B4	HD - 1757 (20,1%) ND - Superior	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	HD - 2526 (28,8%) ND - Superior	HD - 5 (0,06%) ND - Superior
MODELO 4 BV4	- -	HD - 1 (0,01%) ND - Superior	- -	HD - 4 (0,05%) ND - Superior
MODELO 4 BI4	HD - 1965 (22,4%) ND - Superior	- -	HD - 2548 (29,1%) ND - Superior	- -
MODELO 5 B5	HD - 1898 (21,7%) ND - Superior	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	HD - 2578 (29,4%) ND - Superior	HD - 11 (0,13%) ND - Superior

Continua

MODELO 5 BV5	- -	HD - 1 (0,01%) ND - Superior	- -	HD - 10 (0,11%) ND - Superior
MODELO 5 BI5	HD - 1988 (22,7%) ND - Superior	- -	HD - 2539 (29,0%) ND - Superior	- -
MODELO 6 B6	HD - 1742 (19,9%) ND - Superior	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	HD - 2500 (28,5%) ND - Superior	HD - 3 (0,03%) ND - Superior
MODELO 6 BV6	- -	HD - 0 (0,0%) ND - Superior	- -	HD - 3 (0,03%) ND - Superior
MODELO 6 BI6	HD - 1944 (22,2%) ND - Superior	- -	HD - 2535 (28,9%) ND - Superior	- -

Fonte: Primária (2014)

A análise dos dados do Quadro 34 revelou que ao considerar a ocupação da UH há uma redução das horas de desconforto por frio e uma melhora no nível de desempenho nos dois cômodos representativos. Este efeito é conseguido pelo fato da ocupação adicionar fontes de calor ao ambiente interno. O mesmo não ocorreu na avaliação de desconforto por calor, onde foram registradas 1 e 11 horas, no quarto 2 e na sala respectivamente. No entanto, para os dois cômodos, o nível de desempenho permaneceu superior.

Um resultado praticamente idêntico à rodada B foi averiguado na simulação do modelo 1, com venezianas e ocupado. Como a experimentação teste realizada a respeito da influência do sombreamento das aberturas não demonstrou alteração, conclui-se que nesta composição o efeito significativo é atribuído à ocupação.

Comparado ao caso base B, o acréscimo de inércia térmica nas paredes internas e de isolamento na cobertura (modelo 2) revelou efeito positivo no verão, mas negativo no inverno. A partir dos resultados das simulações teste, onde as variáveis foram estudadas isoladamente, foi possível identificar que a influência maior vem do uso da laje mista.

Na avaliação das estratégias passivas de conforto indicadas pela carta bioclimática (modelo 3), não houve eficácia da alta inércia térmica para o desconforto por frio. A associação da alta inércia térmica e do aquecimento solar passivo fica comprometida, pois a elevação da inércia nas paredes externas afasta o calor gerado pela radiação solar incidente na mesma. Esta tática é bem vinda aos dias quentes, onde foi registrada uma redução das horas de desconforto por calor. No modelo 5, onde a inércia térmica foi testada somente nas paredes internas, os resultados no inverno foram menos satisfatórios ainda que a rodada B3 e os de verão sofreram uma melhora sem representatividade.

Verificou-se que o uso de laje mista, aplicada no modelo 4 e bastante comum nas construções da cidade, tem um efeito no inverno muito próximo ao encontrado no modelo de referência. Mas essa composição se mostrou mais eficaz contra o desconforto por calor, visto

que houve aumento das horas dentro da faixa preconizada por Givoni (1992) nos ambientes estudados. Na ponderação das 8760 horas de 2011, este modelo foi confirmado como o segundo melhor adaptado ao clima de Joinville/SC entre os experimentados neste estudo.

De todos os arranjos construtivos simulados nesta investigação, o mais eficaz na análise anual foi o modelo 6, com teto verde. Nas avaliações de DTV, somente a rodada A do caso base não apresentou horas de desconforto. Apesar disso, entende-se que os melhores resultados foram obtidos na simulação dos modelos 4 e 6, rodadas B, pois nessa configuração foi considerada a ocupação da UH, que representa a edificação em uso. Os mesmos modelos citados foram identificados como os mais eficientes no DTI, ainda mais quando experimentada a ventilação natural das 6h às 12h. Estes resultados indicam que a cobertura tem grande influência no desempenho térmico da edificação em questão, inclusive maior que as vedações verticais.

Os testes das taxas de ventilação de verão e inverno nos dias típicos de projeto demonstraram afetar de maneira positiva o conforto térmico da UH pesquisada. Por conta da forma de cálculo utilizada pelo MESTRE, o mesmo efeito não foi registrado nas simulações anuais. Conforme explicado no capítulo 6, as taxas de ventilação estipuladas foram calculadas para as 8760 horas de 2011, independentemente de trata-se de dias ensolarados ou nublados. Sendo assim, é possível afirmar que a ventilação natural é eficaz na melhora do conforto térmico, no verão quando as temperaturas externas estão mais baixas que as internas e no inverno quando se tem a situação oposta.

8 CONCLUSÕES

Conforme o objetivo proposto para este estudo, através da revisão bibliográfica, do estudo e do tratamento das variáveis climáticas da localidade e da elaboração da carta bioclimática, foram determinadas as principais estratégias passivas para condicionamento térmico de edificações em Joinville/SC. As táticas identificadas foram experimentadas através da simulação computacional com o programa MESTRE. Os 7 modelos investigados partiram do projeto residencial padrão R1-B (SINDUSCON-MG, 2007), considerando primeiramente um caso base e os demais alterados de forma a incluir as estratégias bioclimáticas citadas.

O comportamento dos modelos simulados confirma em parte a hipótese adotada nesta pesquisa, pois indica que a inclusão de alta inércia térmica na composição construtiva da UH é mais adequada no verão. Porém, os resultados obtidos em dias frios demonstraram piora no desempenho térmico da edificação com o uso da mesma estratégia. No caso ventilação natural, pode-se afirmar que seu incremento é apropriado quando há diferenças significativas nas temperaturas externas e internas, tanto nas estações quentes como nas estações frias. Isso significa que a ventilação noturna é bem vinda em dias de calor quando as temperaturas externas estão mais amenas, e que a ventilação diurna no inverno, em dias com alto índice de radiação solar, ajuda a restaurar o desconforto por frio. Além disso, foi verificado que o sombreamento das aberturas por si só não tem efeito no desempenho térmico da edificação estudada.

A análise dos resultados demonstrou que a composição da cobertura exerce maior influência no desempenho térmico da UH para o clima de Joinville. Este fato foi comprovado na simulação dos modelos 4 e 6, com a substituição do forro em madeira por laje mista (concreto e EPS) no primeiro e de todo o sistema de cobertura para laje de concreto com teto verde no segundo. Apesar de não ser o foco deste estudo, o exemplar com cobertura verde foi o que apresentou menor número de horas de desconforto, tanto por frio quanto por calor, comparado ao caso base também ocupado e segundo os limites estipulados por Givoni (1992). O isolamento da cobertura pela inclusão de laje mista também resultou em mais horas de conforto, considerando a ocupação da edificação.

É necessário lembrar que esta investigação, por tratar do estudo de uma UH exposta às condições climáticas (insolação, ventos, etc) específicas, visou expandir e generalizar teorias e não resultados. Além disso, é importante destacar que não foram consideradas na investigação a existência de barreiras físicas ou ilhas de calor no entorno da edificação, que poderiam afetar as trocas de calor da UH com o exterior.

Conclui-se que os projetos de residências unifamiliares para Joinville, devem atender mais aos requisitos de desempenho térmico de inverno, e por vezes podem ser requeridas fontes de condicionamento artificiais. Esta afirmação deve-se tanto às indicações da carta bioclimática da localidade quanto aos resultados das simulações realizadas neste estudo.

8.1 Análise crítica dos resultados

A norma brasileira de desempenho de edificações (NBR 15575/08), mesmo focada para edifícios habitacionais até 5 pavimentos, convém como referência básica para compreensão das necessidades relacionadas ao desempenho térmico dos projetos residenciais. Mas algumas deficiências foram identificadas ao longo deste estudo.

A primeira das fragilidades percebidas na norma é a indicação de realizar simulações computacionais de edificações para dias típicos de projeto sem ao menos citar uma referência para a forma de definição dos mesmos. Na revisão da literatura foram constatadas algumas pesquisas que consideraram este tratamento nos dados climáticos, mas, na maioria delas, os passos indicados não são suficientemente detalhados para sua reprodução. Esta dificuldade só foi sanada ao deparar-se com o artigo de Sattler (1991a), que descreve a metodologia mais adequada para definição de dias típicos de projeto, conforme menciona Goulart (1993). Ressalta-se também que o fato da norma indicar a simulação de edificações sem considerar a ocupação pode resultar em uma distorção da realidade verificada em uma habitação em uso.

Outra advertência a ser citada sobre a norma de desempenho de edificações, com relação às questões térmicas, é a mesma se referir ao zoneamento bioclimático brasileiro constante na NBR 15220-03/03. A lista de municípios contemplados na norma de desempenho térmico de edificações ainda é bastante restrita e necessita atualização. Também, há certa dificuldade de visualização das zonas no mapa do zoneamento bioclimático apresentado no documento. A este respeito tem-se o estudo elaborado por Roriz (2012), onde consta um número maior de cidades analisadas e que podem ser absorvidas à citada norma. Além disso, mesmo identificada a zona bioclimática a qual Joinville pertence, segundo a NBR 15220-03/03, concluiu-se que a cidade apresenta variáveis climáticas e conformação geográfica muito específicas e que estas interferem diretamente no conforto térmico nas edificações.

A mais importante advertência com relação à NBR 15575/08 está relacionada aos níveis de desempenho. Como pode ser visto no Quadro 34, praticamente todos os modelos e rodadas simulados obtiveram o nível superior, à exceção do modelo de referência sem

ocupação. Isto significa que, mesmo com índices de horas de desconforto anual entre 19,9% e 31,4% no inverno, a UH tem alto grau de desempenho segundo a norma brasileira. Transferindo esta análise para valores de temperatura do ar interno (T_i), significa dizer que, em Joinville, um cômodo com T_i igual a 36,1°C ou a 11,7°C tem desempenho térmico superior. Isso significa que os valores de temperatura aceitos pela NBR 15575/08 para ZB 5 encontram-se fora das faixas de conforto preconizadas por autores e normas internacionais citadas neste trabalho.

No decorrer desta investigação, precisamente em julho de 2013, foi publicada e entrou em vigor a nova versão da norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais (NBR 15575/13), sem o enfoque em edifícios até 5 pavimentos. Com isso, algumas das deficiências citadas já foram sanadas, mas mantiveram-se os mesmos critérios de avaliação de performance, tanto para inverno quanto para verão.

Com relação aos dias típicos de projetos, a versão 2013 da NBR 15575 disponibiliza os parâmetros a serem utilizados, mas apenas para algumas cidades. Sobre este mesmo aspecto, o novo documento acrescenta que, caso não seja possível o estudo de uma habitação com ambientes com 2 paredes expostas, o cômodo representativo deve ter ao menos a janela exposta para pior situação de inverno e de verão. Conforme cita CBIC (2013), a investigação de desempenho térmico por dia típico de verão e inverno também gera dificuldade quando o mesmo é realizado por medição *in loco*. Neste caso, para as cidades não constantes da lista, o procedimento teria que estar discriminado no documento. Para solucionar esta questão a norma admite a utilização de dados de uma cidade próxima, de mesma zona climática e com altitude de mesma grandeza. Mas ressalta-se que este procedimento pode resultar em análises equivocadas em alguns casos, pois, as características geográficas e as variáveis climáticas, principalmente os ventos, podem ser muito distintas mesmo em localidades próximas.

No novo documento da norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais, foram ampliados os valores de áreas de aberturas, com distinções entre regiões do país e indicação de possibilidade de vedação para zonas mais frias. Outra melhora verificada foi a inclusão de taxa maior de ventilação e sombreamento das aberturas como forma de adequar a UH aos critérios estabelecidos para verão.

Neste sentido, o uso da carta bioclimática pode ser um recurso mais representativo para o estudo de um clima específico. Mas há que se fazerem ressalvas, pois o uso desta ferramenta deve ser somado a uma reflexão a respeito das características da localidade a ser investigada. Além disso, foi verificado nesta investigação que o diagrama bioclimático tem suas estratégias mais voltadas à resolução de desconforto por calor. Esta ocorrência pode estar

relacionada ao fato de Givoni (1992) ter suas pesquisas voltadas à países de clima quente e em desenvolvimento e baseadas na aclimação de pessoas ao clima quente e úmido.

Comparadas as indicações de estratégias passivas para projetos do diagrama bioclimático às da NBR 15575/08, foi identificado certo grau de concordância, mas com maior detalhamento das recomendações na última. A similaridade também ocorreu na comparação entre os resultados da carta bioclimática com os encontrados na pesquisa sobre conforto térmico realizada por Lopes (2009) em Joinville e citada neste trabalho, que mostra maior taxa de insatisfeitos com as temperaturas dos ambientes no inverno.

A simulação computacional de desempenho térmico de edificações, com todos os adverte abordados por vários autores, permitiu o estudo de várias conformações construtivas e situações de uso, mostrando-se pertinente ao objetivo desta pesquisa. A experimentação anual demonstrou maior rigor, pelo fato da temperatura inicial considerada ser a do dia anterior e não um valor hipotético como acontece nos cálculos de dias típicos de projeto. O programa MESTRE, utilizado para as experimentações, revelou-se sensível às variáveis solicitadas, além de permitir fácil conferência das mesmas, evitando erros na inserção dos dados. No entanto, duas ressalvas devem ser comentadas. A primeira delas é que os valores considerados para temperatura do solo podem ter influenciado para baixo as temperaturas do ar no interior da edificação. A segunda consideração a ser feita é que o fato do *software* desconsiderar a umidade nos cálculos pode ter camuflado alguns dos efeitos registrados. Sobre este aspecto, a versão 2013 da NBR 15575 afirma que o PSDE deve considerar todas as condições climáticas, incluindo umidade relativa do ar. Por este motivo, para futuros estudos baseados na nova norma brasileira de desempenho de edificações, a simulação com o MESTRE, versão 2012, não será válida.

Uma das barreiras identificadas ao longo deste trabalho, e verificadas também na literatura, foi a dificuldade de obtenção de dados climáticos com o mínimo de confiabilidade. No Brasil, a maioria destas informações é coletada em estações meteorológicas localizadas nos aeroportos. Em muitos casos, os terminais aeroportuários localizam-se fora do adensamento urbano e isso pode derivar em pequenos desvios nos resultados dos estudos de desempenho térmico de edificações em adensamentos urbanos. Mas, o obstáculo mais relevante pode ser o custo para aquisição destes dados. Isto porque a INFRAERO, empresa administradora dos aeroportos brasileiros, entende que estas informações devem ser comercializadas, mesmo para uso em pesquisas científicas. Assim, como não havia dotação orçamentária específica para aquisição de dados para esta investigação, houve a necessidade da busca destas informações em outras fontes.

A continuidade deste trabalho foi garantida pela cessão, de forma gratuita, do banco de dados meteorológicos da estação meteorológica instalada no campus da Univille, feita pelo Comitê Cubatão Cachoeira Joinville. Estes dados foram utilizados para elaboração da carta bioclimática e para definição dos dias típicos de projeto. Dados completos do ano de 2011 desta mesma estação também foram utilizados neste estudo, e estes estão disponibilizados no sítio eletrônico do Projeto SONDA (ver capítulo 5).

8.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sugerem-se os seguintes tópicos para desenvolvimentos de trabalhos futuros:

- Estudo de outras composições e tipologias construtivas para o clima de Joinville/SC.
- Investigação do desempenho térmico de edificações existentes na localidade, através de medições das variáveis para averiguação de interferências que não podem ser mensuradas na simulação computacional.
- Experimentação dos efeitos do clima da localidade em protótipos de diferentes composições construtivas, com medições anuais.
- Simulação dos modelos em programa que inclua umidade relativa nos cálculos, conforme indica a versão 2013 da NBR 15575.
- Visto que a análise de conforto térmico por TBS pode resultar em uma desconformidade com as sensações humanas em localidades com altos índices de umidade relativa do ar ou vento, recomenda-se a elaboração de método de avaliação de desempenho térmico por valores de sensação térmica.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. L. P. de. **Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/node/122>> Acesso em: 17 maio 2012.

AFONSO, J. F. dos S. **Estudo do comportamento térmico de edifícios antigos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2009. Disponível em < http://run.unl.pt/bitstream/10362/2528/1/Afonso_2009.pdf > Acesso em: 16 maio 2012.

AHMED, A. A. E-M. M. A. Using simulation for studying the influence of vertical shading devices on the thermal performance of residential buildings (Case study: New Assiut City). **Ain Shams Engineering Journal**, v. 3, p. 163-174, 2012.

ALMEIDA, H. S. **Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/745608/1/dissertacao.pdf>> Acesso em: 17 maio 2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONG ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2003.

ANDRADE, S. F. de. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/8239#>> Acesso em: 20 jan. 2014.

ANDREASI, W. A., LAMBERTS, R., CÂNDIDO, C. Thermal acceptability assessment in building located in hot and humid regiões in Brazil. **Building and Environment**, v. 45, p. 1225-1232, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12721: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifícios em condomínio**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575**: Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR**. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BARBOSA, M. J., LAMBERTS, R. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 1, p. 15-28, jan./mar. 2002.

BATIZ, E. C., GOEDERT, J., MORSCH, J. J., KASMIRSKI-JR, P., VENSKE, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009.

BORGES, C. A. O significado de desempenho nas edificações – Norma brasileira de desempenho de edifícios passa a valer em 12 de maio; saiba porque ela é importante para o setor. **Construção Mercado**, v. 103, fev. 2010. Disponível em: <<http://construcomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-282364-1.aspx>> Acesso em: 6 ago. 2013.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. **Boletim regional, urbano e ambiental**. n.1. Brasília: Ipea. Dirur, 2008. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/boletim_regional/111125_boletimregional6.pdf> Acesso em: 1 maio 2012.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa=tmed>> Acesso em: 10 maio 2012.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2013**: ano base 2012. Brasília, 2013. Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf> Acesso em: 20 jan. 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC, 2013).
Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf> Acesso em: 21 de abr. de 2014.

CAÑAS-GUERRERO, I., MAZARRÓN, F. R., CALLEJA-PERUCHO, C., POU-MERINA, ANA. Bibliometric analysis in the international context of the “Construction & Building Technology” category from the Web of Science database. **Construction and Building Materials**, v. 53, p. 13-25, 2014.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, p. 222-229, 2010.

CAVALCANTI, C. **Desenvolvimento e natureza:** estudos para uma sociedade sustentável. 3 ed. São Paulo: Cortez, 2001.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, E. C. da. **Arquitetura ecológica:** condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

ELETROBRAS (2006). **Procel Info.** Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/PCI/main.asp?View=%7B623FE2A5-B1B9-4017-918D-B1611B04FA2B%7D&Team=¶ms=itemID=%7BC46E0FFD-BD12-4A01-97D2-587926254722%7D%3BLumisAdmin=1%3B&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>> Acesso em: 4 out. 2011.

EDWARDS, B. **O guia básico para sustentabilidade.** Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

FANGER, P. O. **Thermal comfort** – analysis and applications in environmental engineering. Malabar: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 533-536, 2002.

FERREIRA, M. C. **Ambiente de aprendizagem *on-line* e aprendizagem *on-line* do ambiente:** contribuições da ergonomia na gestão de sistemas educacionais a distância. Curso de Especialização a Distância, Faculdade de Educação UnB, Brasília, p. 1-9, 2000. Disponível em: <<http://www.ergopublic.com.br/arquivos/1252860760.1-arquivo.pdf>> Acesso em: 1 maio 2012.

FONSECA, I. C. L. da, ALMEIDA, C. C. da R. DE, LOMARDO, L. L. B., MELLO, E. N. Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro. **Revista Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 41-58, abr./jun. 2010.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico:** arquitetura, urbanismo. 8 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA (FATMA, 2003). **Atlas ambiental da região de Joinville:** complexo hídrico da Baía da Babitonga. 2 ed. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2003.

GIGLIO, T. G. F., BARBOSA, M. J. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 3, p. 91-103, jul./set. de 2006.

GHISI, E., GOSCH, S., LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, p. 4107-4120, 2007.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** Amsterdam : Elsevier, 1969.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guideline. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. Climatic aspects of urban design in tropical regions. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. 3, p. 397-406, 1992a.

GIVONI, B. Urban design for hot humid regions. **Renewable Energy**, v. 5, part II, p. 1047-1053, 1994.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

GOULART, S.V.G., BARBOSA, M.J., PIETROBON C. E., BOGO A., PITTA T.,
Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Relatório interno nº. 02/94, NPC: UFSC, 1994, 80 p.

GOULART, S. V. G. **Thermal inertia and natural ventilation** – optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Energia) – Architectural Association School of Architecture, Londres, 2004.

HAASE, A., AMATO, A. An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates. **Solar Energy**, n. 83, p. 389-399, 2009.

HACKENBERG, A. M. **Conforto e “stress” térmico em indústrias:** pesquisas efetuadas nas regiões de Joinville, SC e Campinas, SP. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2000. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000213365>> Acesso em: 12 abr. de 2012.

HACKENBERG, A. M. **O clima urbano numa cidade estuária de fundo de baía:** Joinville/SC. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

HAN, J., ZHANG, G., ZHANG, Q., ZHANG, J., LIU, J., TIAN, L., *et al.* Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. **Building and Environment**, p. 4043-4050, 2007.

HE, J., HOYANO, A., ASAWA, T. A numerical simulation tool for predicting the impact of outdoor thermal environment on building energy performance. **Applied Energy**, v. 86, p. 1596-1605, 2009.

HENSEN, J. L. M. Towards more effective use of building performance simulation in design. **VII International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning**. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2004.

HERTZ, J. **Ecotécnicas em arquitetura:** como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET, 2012). **Normais Climatológicas**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa=tmed>> Acesso em: 10 maio 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE, 2013). **Estação de Joinville**. Disponível em < <http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/joinville.html> > Acesso em: 13 nov. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Moderate thermal environments - Determination of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1984.

JOINVILLE. Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. **Joinville Cidade em Dados 2010/2011**. Joinville, 2011.

KRÜGER, E. L., GIVONI, B. Predicting thermal performance in occupied dwellings. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 301-307, 2004.

KRÜGER, E. L., LAROCA, C. Thermal performance evaluation of a low-cost housing prototype made with plywood panels in Southern Brazil. **Applied Energy**, v. 87, p. 661-672, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE, 2011). **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE, 2012). **ANALYSIS Bio Versão 2.2**. UFSC – ECV – NPC – LabEEE, 2003. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>> Acesso em: 24 abr. 2012.

LABS, K. **Earth coupling**, in COOK, J. (org.), **Passive cooling**. Cambridge: the MIT Press, 1989.

LAKES ENVIRONMENTAL (LAKES ENVIRONMENTAL, 2014). **WRPLOT View™ Version 7.0.0** – Wind Rose Plots for Meteorological Data. Disponível em: <<http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>> Acesso em: 9 jan. 2014.

LOPES, T. do P. Avaliação do desempenho térmico de uma edificação multifamiliar de interesse social em uso, construída em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos na cidade de Joinville, SC. **Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído**. São Carlos, 2009.

MARCONDES, M. P., MUELLER, C. M., BRANDÃO, R. S. B., SHIMOMURA, A. R. P., BRUNELLI, G., PAES LEME, G. S. de B., GONÇALVES, J. C. S., DUARTE, D. H. S., FROTA, A. B. Conforto e desempenho térmico nas edificações do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro. **Revista Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 7-29, jan./mar. 2010.

MELO, M. Jr., CARASEK, H. Índices de chuva dirigida direcional e análise do nível de umedecimento em fachadas de edifício multipavimentos em Goiânia, GO. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 3, p. 23-37, jul./set. 2011.

MENDES, N., WESTPHAL, F. S., LAMBERTS, R., CUNHA NETO, J. A. B. da. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES (ITAMARATY, 2013). **BRICS**: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. Disponível em:
<<http://www.itamaraty.gov.br/temas/mecanismos-inter-regionais/agrupamento-brics>> Acesso em: 20 dez. 2013.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. United States: John Willy & Sons, 2000.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 563-572, 2002.

NGUYEN, A. -T., REITER, S. An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 237-246, 2012.

NGUYEN, A. -T., REITER, S., RIGO, P. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. **Applied Energy**, v. 113, p. 1043-1058, 2014.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

NOGUEIRA, M. C. J. A., DURANTE, L. C., NOGUEIRA, J. S. Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. **Revista eletrônica Mestrado em Educação Ambiental**, v. 14, jan./jun. 2005. Disponível em:
<<http://www.remea.furg.br/edicoes/vol14/art04.pdf>> Acesso em: 1 maio 2012.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

OLIVEIRA, A. G. de. **Proposta de método para avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliares em clima quente e úmido**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=125590> Acesso em: 17 maio 2012.

PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical** – estudo de caso em Florianópolis/SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PEÑA, C. C, GHISI, E., PEREIRA, C. D. Comparação entre necessidade e disponibilidade de vento e radiação solar para fins de análise bioclimática de edificações em Florianópolis. **Ambiente Construído**, v.8, n.4, p. 87-101, out./dez. 2008.

RIBEIRO, J. L., CATEN, C. **Projeto de experimentos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia da Produção, 2000.

ROBSON, C. **Real world research**: a resource for social scientists and practitioner-researchers. 2 ed. Malden: Blackwell Publishers, 2002.

RODRÍGUEZ, G. C., ANDRÉS, A. C., MUÑOZ, F. D., LÓPEZ, J. M. C., ZHANG, Y. Uncertainties and sensitivity analysis in building energy simulation using macroparameters. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 79-87, 2013.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP: 2012. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/zoneamento_10.html> Acesso em: 18 fev. 2013.

RORIZ, M., CHVATAL, K. M. S., CAVALCANTI, F. S. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. **Anais do X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Natal: 2009.

SANTAMOURIS, M., KOLOKOTSA, D. Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 74-94, 2013.

SATTLER, M. A. **Dias típicos para o projeto térmico de edificações para Porto Alegre. Anais do I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.** Gramado, 1990. Artigo Técnico, Porto Alegre, p. 127-132, 1991a.

SATTLER, M. A. THEDES: um programa de computador para a simulação do desempenho térmico de edificações. **Anais do I Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações.** Florianópolis, p. 150-156, 1991b.

SCHMID, A. L., GRAF, H. F. Validation of Mestre Building Simulation System according to Best-test Multi-Zone, Non-Airflow, in Delph diagnostic cases. **Anais do Building Simulation.** Sydney, 2011.

SCHMID, A. L. **MESTRE Building Silation System Versão 2012.** 2013.

SCHWARTZ, Y., RASLAN, R. Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study. **Energy and Buildings**, v. 62, p. 350-359, 2013.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS (SINDUSCON-MG). **Custo unitário básico (CUB/m²): principais aspectos.** Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. Disponível em: <http://www.cub.org.br/docs/cartilha_CUB_NET.pdf> Acesso em: 10 jul. 2013.

SOUZA, C. B. de. Contrasting paradigms of design thinking: The building thermal simulation tool user vs. the building designer. **Automation in Construction**, v. 22, p. 112-122, 2012.

SOUZA, H. A. de, AMPARO, L. R., GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em *lighth steel framing*. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 113-128, out./dez. de 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE, 2013). **Building Energy Software Tools Directory.** Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/> Acesso em: 7 nov. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA; LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (UFSC/LABEEE). **Casa Eficiente:** bioclimatologia e desempenho térmico. V. 1. Florianópolis: UFSC/LABEEE, 2010.

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE (UNIVILLE, 2009). **Dados meteorológicos**. Disponível em:

<<http://www.univille.edu.br/pt/servicos/estacaometeorologica/dadosmeteorologicos/index/49824>> Acesso em: 27 abr. 2012.

YEZIORO, A., DONG, B., LEITE, F. An applied artificial intelligence approach towards assessing building performance simulation tools. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 612-620, 2008.

YILMAZ, Z. Evaluation of energy eficiente design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 306-316, 2007.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

WERSDOERFER, T. M. **Técnicas naturais de conforto térmico aplicados à cidade de Joinville**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina – Joinville, 2006.

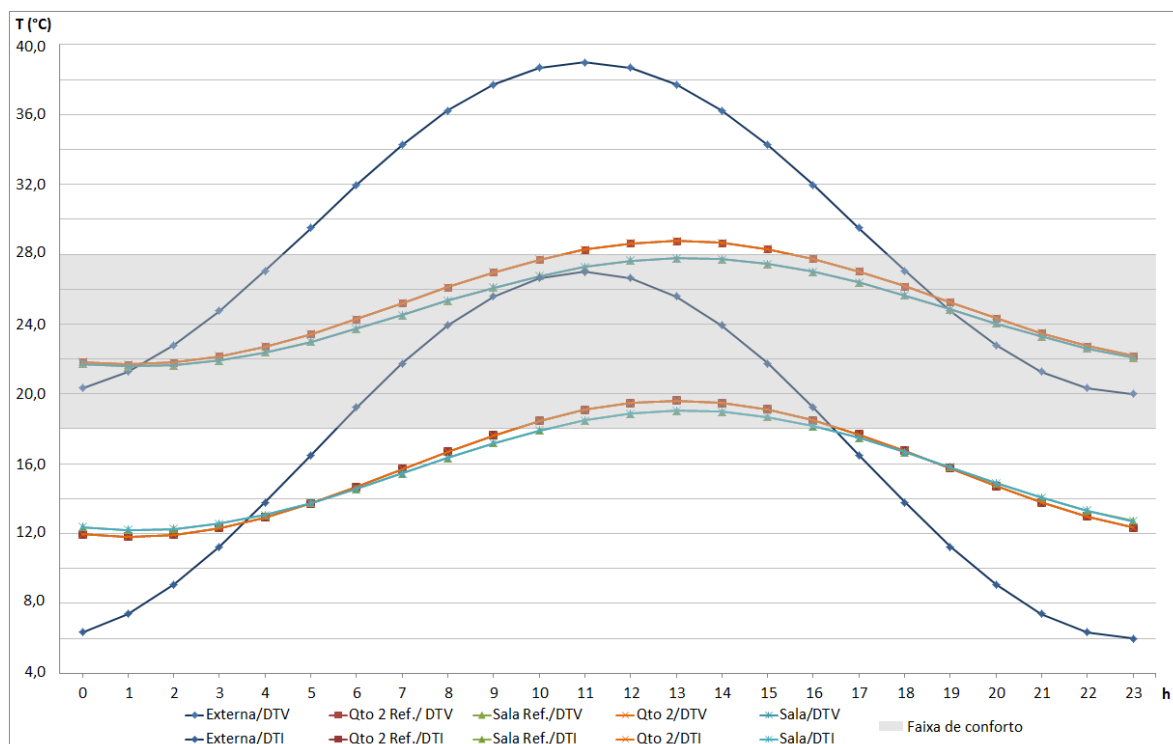
APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados das simulações teste

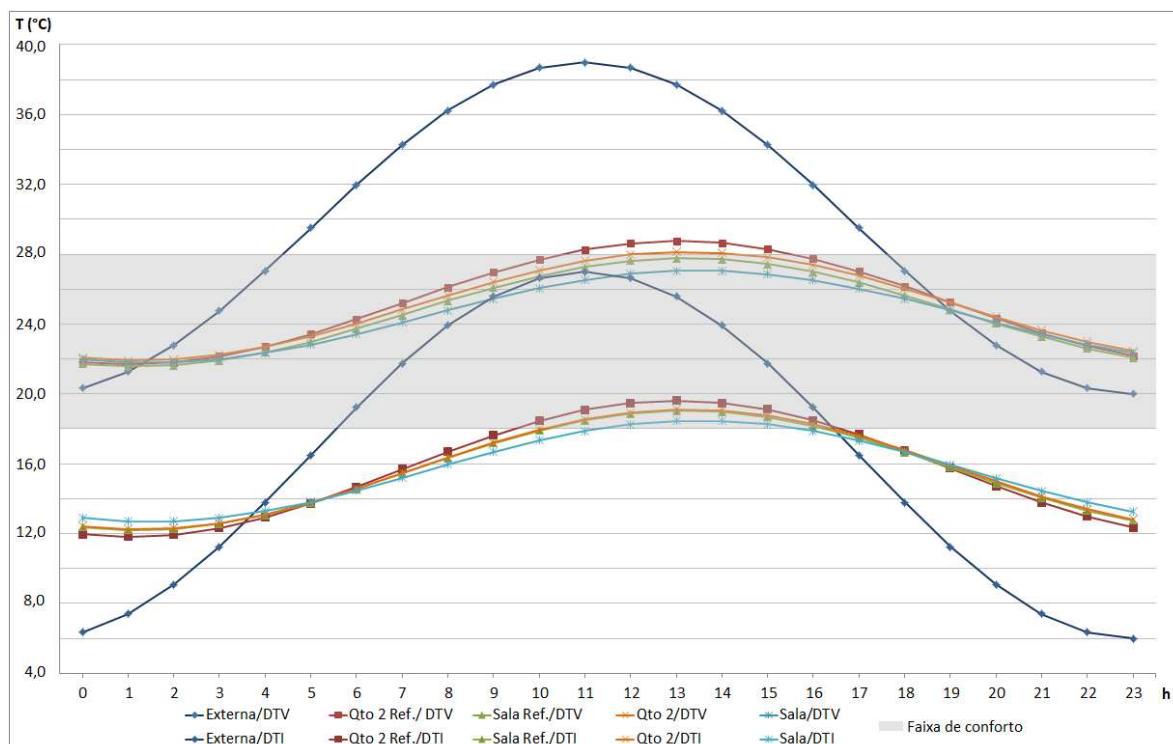
APÊNDICE B – Arquivo simulado no Mestre *Building Simulation System* (rodada B5 sem dados climáticos)

APÊNDICE A – Resultados das simulações teste

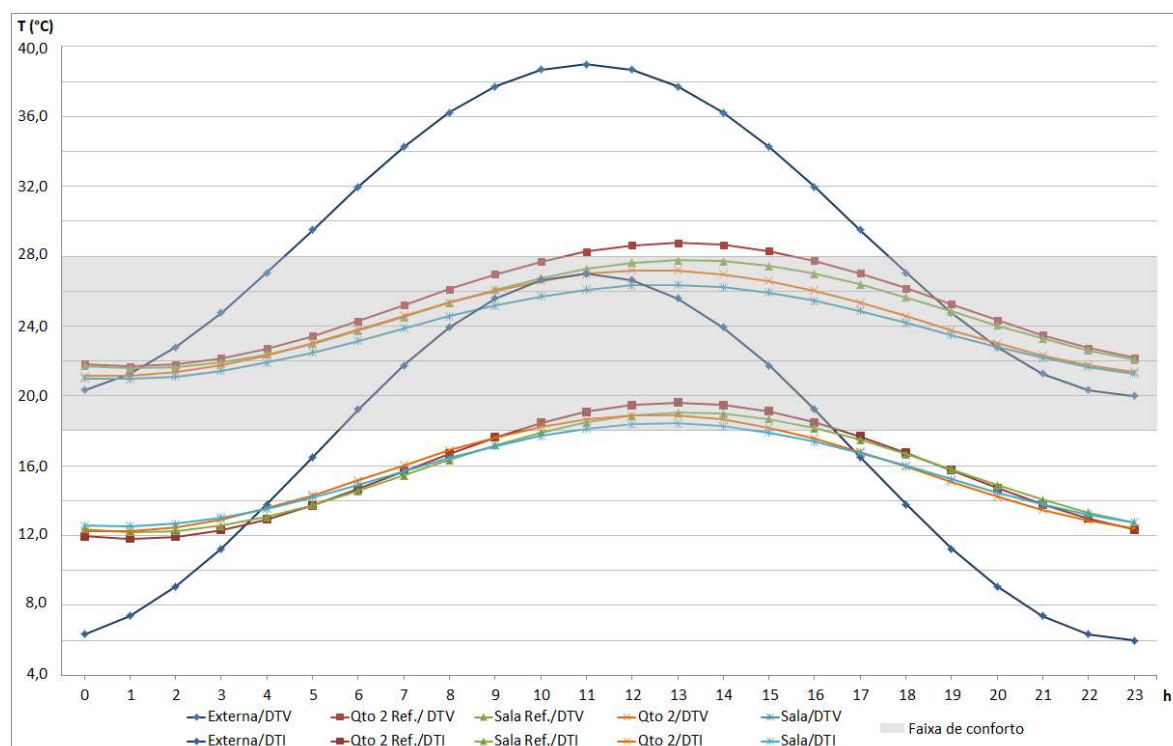
Teste 1: Orientação – rotação de 270°



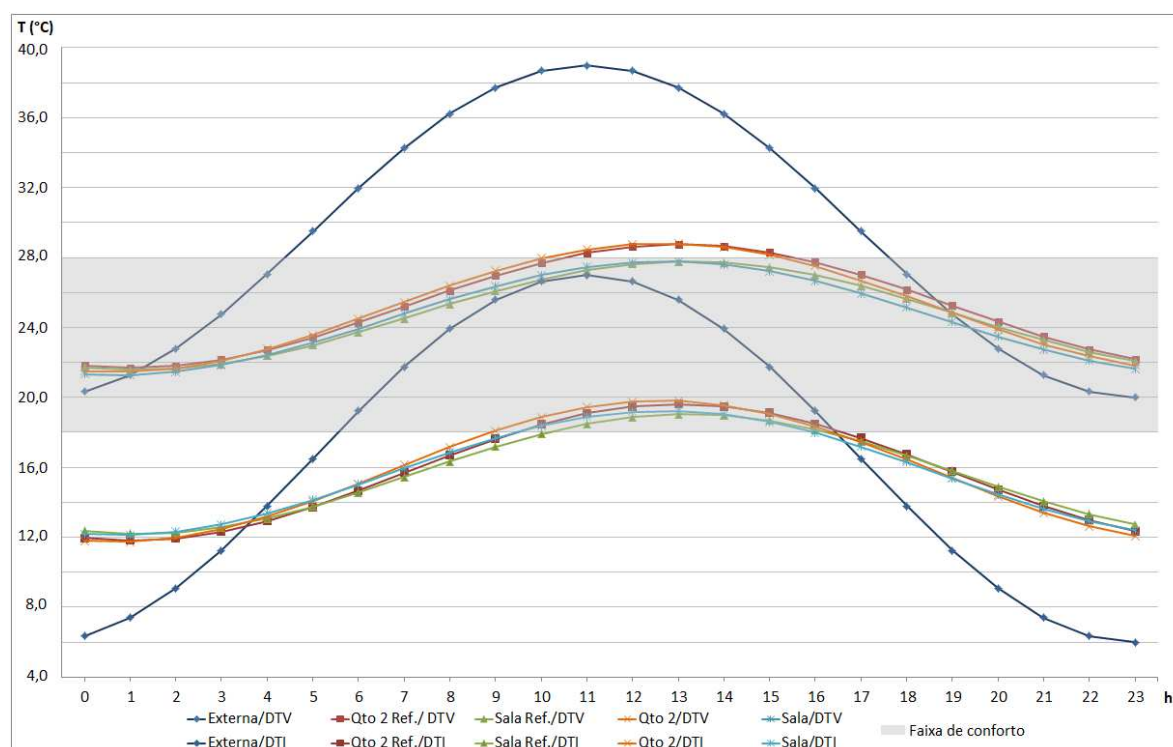
Teste 2: Cobertura – substituição de forro de madeira por laje mista (concreto e EPS)

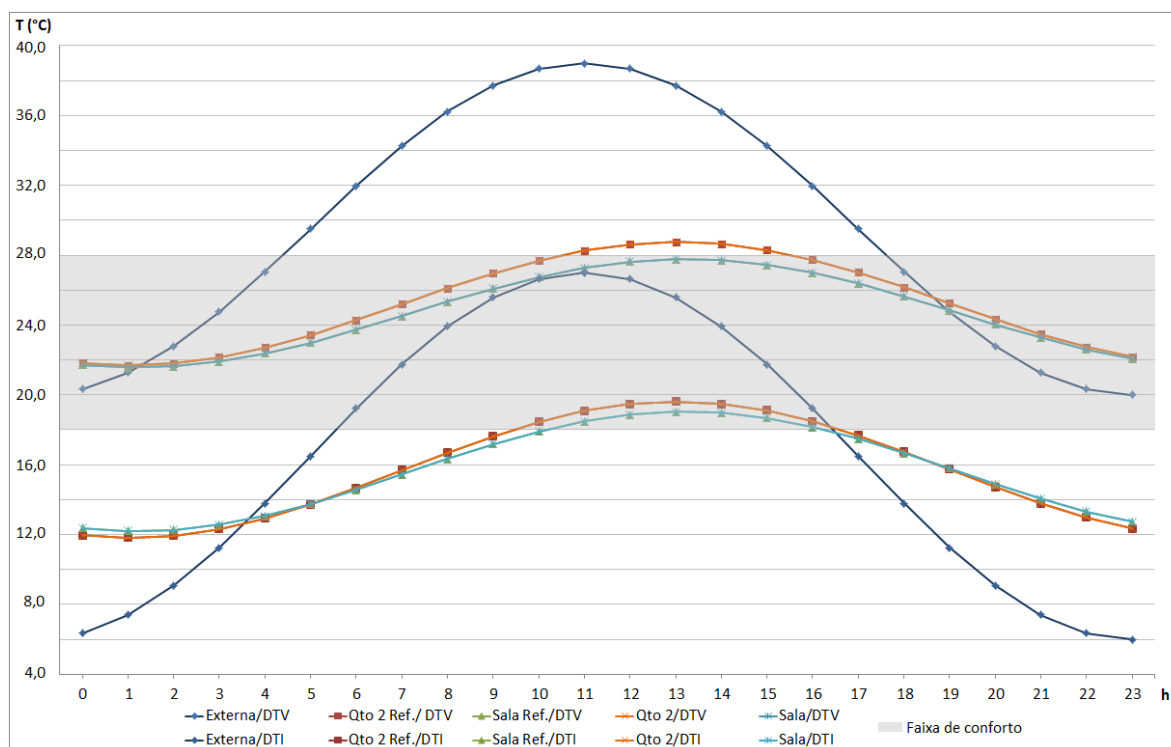


Teste 3: Parede externa – substituição de alvenaria comum por alvenaria + EPS + madeira
(isolamento)

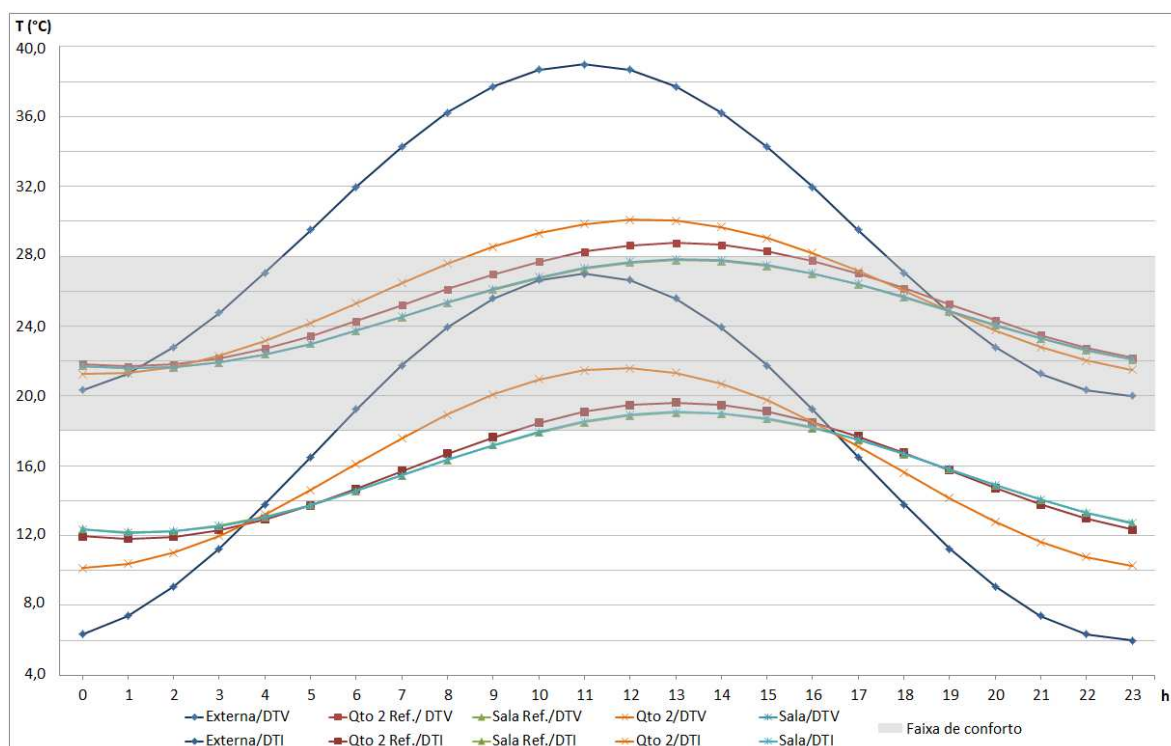


Teste 4: Parede interna – substituição de alvenaria comum por alvenaria de tijolos deitados duplos

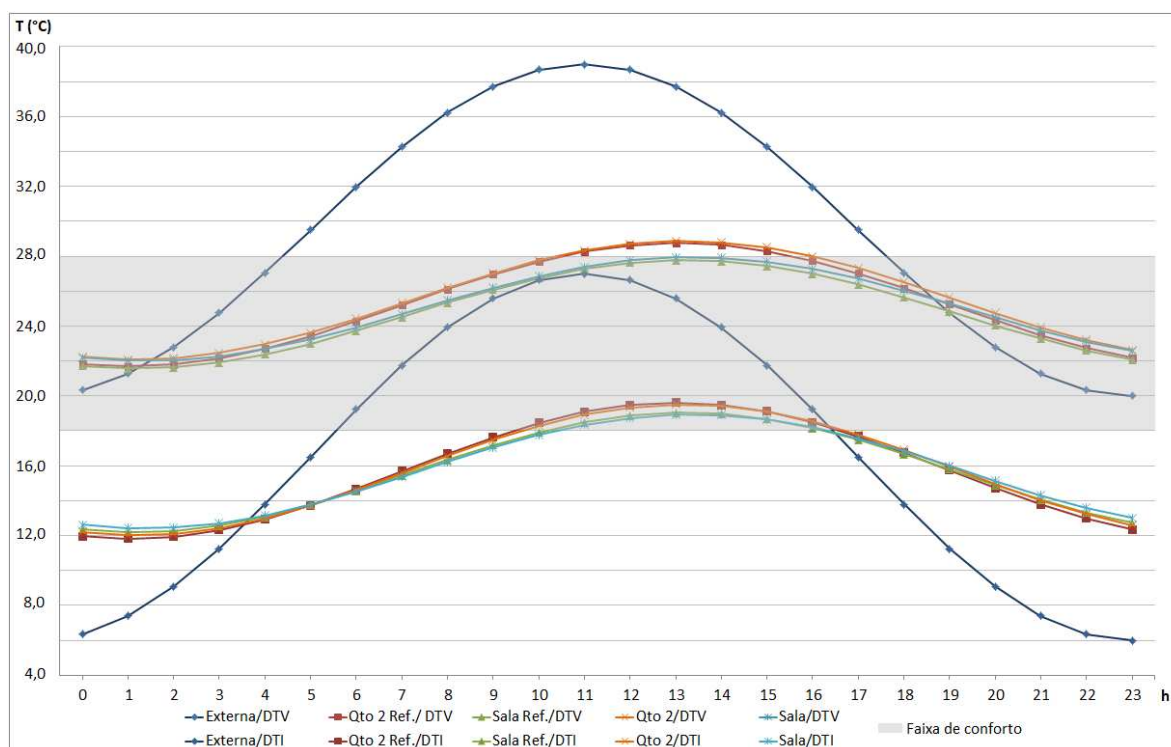




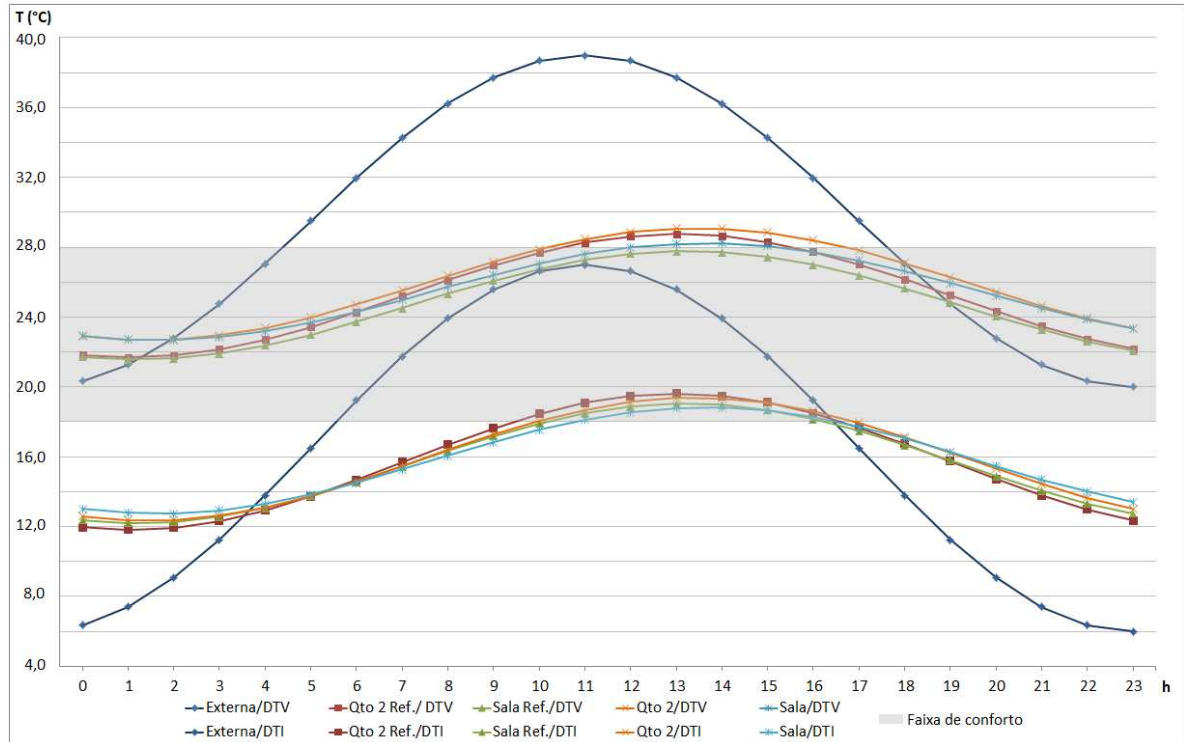
Teste 7: Aberturas – aumento da dimensão da janela



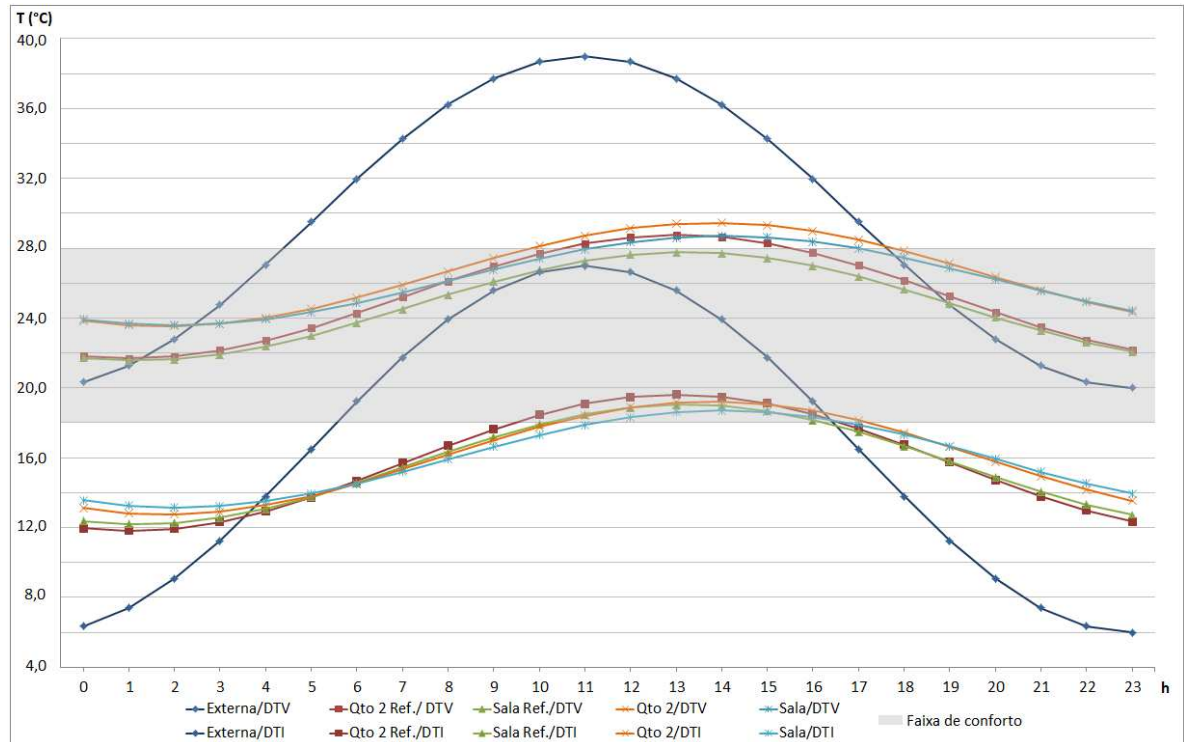
Teste 8a: Pé-direito – elevação da altura piso-teto para 3,00m



Teste 8b: Pé-direito – elevação da altura piso-teto para 4,00m



Teste 8c: Pé-direito – elevação da altura piso-teto para 6,00m



APÊNDICE B – Arquivo simulado no Mestre *Building Simulation System* (rodada B5 sem dados climáticos)

[illegible]

```

Comando inicial geral(código d)
CALOR dia mes hi hf deltat lat long graf(Ti Tf qi qf TconfI TconfF) rot neb resSol(x y) resSol(x y) erroConv
d 0 -1 0 24 3600 -26 -48 0 40 -5000 5000 18 28 0 0.20 0.1 0.1 0.3 0.3 0.1
onde:
dia=caso mes>0
mes= -1 (ano inteiro hora a hora) 0 (um dia por mes) 1 a 12: um dia somente
hi = hora inicial (não mudar)
hf = hora final (não mudar)
deltat = intervalo de tempo (não mudar)
lat=latitude
long = longitude
graf = limites do gráfico de temperatura (Ti e Tf), taxa de geração de calor (qi e qf) e conforto (TconfI e TconfF)
importantes:
rot= ângulo horário de rotação do modelo todo
neb= fator de nebulosidade (0.0=dia claro; 1.0=dia completamente encoberto) (não mudar)
resSol = resolução da grade de raios solares (aconselhável: metade da menor dimensão da menor janela)
erroConv = critério de convergência de cálculos quando em dia único, aconselhável erro < 0,1
LUZ-resolução para simulação da luz (código g)
g 5
TODOS
Geometria das paredes (código p)
ponto gerador (X,Y,Z), azimuth, altura do vetor normal ao plano (0°=parede vertical), largura, espessura, altura, mat
do lado de dentro da parede, zona do lado de fora, temperatura inicial e nome

```

Imagine-se de pé sobre o ponto gerador e olhando para a direção dada por azimuth+altura

A parede surgirá atrás, à direita e acima de você.

PISOS

p	0.00	6.35	0.00	0	90	2.85	0.10	3.35	3	1	2	20	piso quarto 2
p	2.85	6.35	0.00	0	90	1.35	0.10	2.25	3	1	3	20	piso banho
p	4.20	6.35	0.00	0	90	3.10	0.10	3.35	3	1	4	20	piso quarto 1
p	0.00	3.00	0.00	0	90	0.60	0.10	3.00	3	1	0	20	piso externo cozinha
p	0.60	3.00	0.00	0	90	2.15	0.10	3.00	3	1	5	20	piso cozinha
p	2.75	3.00	0.00	0	90	4.55	0.10	3.00	3	1	6	20	piso sala
p	2.85	4.10	0.00	0	90	1.35	0.10	1.15	3	1	6	20	piso sala corredor

TETOS

p	0.00	6.35	2.60	0	90	2.85	0.10	3.25	10	7	2	20	teto quarto 2
p	2.85	6.35	2.60	0	90	1.35	0.10	2.25	10	7	3	20	teto banho
p	4.20	6.35	2.60	0	90	3.10	0.10	3.35	10	7	4	20	teto quarto 1
p	0.00	2.95	2.60	0	90	0.60	0.10	2.95	10	7	0	20	teto externo cozinha
p	0.60	2.95	2.60	0	90	2.15	0.10	2.95	10	7	5	20	teto cozinha
p	2.75	2.95	2.60	0	90	4.55	0.10	2.95	10	7	6	20	teto sala
p	2.85	4.10	2.60	0	90	1.35	0.10	1.15	10	7	6	20	teto sala corredor

TELHADOS

p	-0.60	6.35	2.60	0	65	8.48	0.01	3.503	7	7	0	20	telhado norte
p	7.88	0.00	2.60	180	65	8.48	0.01	3.503	7	7	0	20	telhado sul

BEIRAIS

p	7.88	6.35	2.60	180	115	8.48	0.01	1.00	7	0	0	20	telhado norte beiral
p	-0.60	0.00	2.60	0	115	8.48	0.01	1.00	7	0	0	20	telhado sul beiral

PAREDES EXTERNAS

p	0.15	6.35	0.00	0	0	2.60	0.15	2.60	1	2	0	20	norte quarto 2
p	2.85	6.35	0.00	0	0	1.35	0.15	1.50	1	3	0	20	norte banho peitoril
p	2.85	6.35	1.50	0	0	0.325	0.15	0.60	1	3	0	20	norte banho boneca
p	3.175	6.35	1.50	0	0	0.60	0.005	0.60	4	3	0	20	norte banho janela
p	3.775	6.35	1.50	0	0	0.325	0.15	0.60	1	3	0	20	norte banho boneca
p	2.85	6.35	2.10	0	0	1.35	0.15	0.50	1	3	0	20	norte banho verga
p	4.20	6.35	0.00	0	0	2.95	0.15	2.60	1	4	0	20	norte quarto 1
p	7.30	6.35	0.00	90	0	0.80	0.15	2.60	1	4	0	20	leste quarto 1
p	7.30	5.55	0.00	90	0	1.50	0.15	0.90	1	4	0	20	leste quarto 1 peitoril
p	7.30	5.55	0.90	90	0	1.50	0.005	1.20	4	4	0	20	leste quarto 1 janela
p	7.30	5.55	2.10	90	0	1.50	0.15	0.50	1	4	0	20	leste quarto 1 verga
p	7.30	4.05	0.00	90	0	1.05	0.15	2.60	1	4	0	20	leste quarto 1
p	7.30	3.00	0.00	90	0	0.80	0.03	2.10	2	6	0	20	porta sala leste
p	7.30	3.00	2.10	90	0	0.80	0.15	0.50	1	6	0	20	verga sala leste
p	7.30	2.20	0.00	90	0	2.20	0.15	2.60	1	6	0	20	sala leste
p	7.15	0.00	0.00	180	0	1.15	0.15	2.60	1	6	0	20	sala sul
p	6.00	0.00	0.00	180	0	2.00	0.15	0.90	1	6	0	20	sala sul peitoril

p	6.00	0.00	0.90	180	0	2.00	0.01	1.20	4	6	0	20	sala sul janela						
p	6.00	0.00	2.10	180	0	2.10	0.15	0.50	1	6	0	20	sala sul verga						
p	4.00	0.00	0.00	180	0	1.15	0.15	2.60	1	6	0	20	sala sul						
p	2.85	0.00	0.00	180	0	2.25	0.15	2.60	1	5	0	20	cozinha sul						
p	0.60	0.00	0.00	180	0	0.60	0.15	2.60	1	5	0	20	cozinha empena						
p	0.60	0.15	0.00	270	0	0.90	0.03	2.10	2	5	0	20	cozinha porta oeste						
p	0.60	0.15	2.10	270	0	0.90	0.15	0.50	1	5	0	20	cozinha verga oeste						
p	0.60	1.05	0.00	270	0	0.35	0.15	2.60	1	5	0	20	cozinha oeste						
p	0.60	1.40	0.00	270	0	1.20	0.15	1.10	1	5	0	20	cozinha peitoril oeste						
p	0.60	1.40	1.10	270	0	1.20	0.01	1.00	4	5	0	20	cozinha janela oeste						
p	0.60	1.40	2.10	270	0	1.20	0.15	0.50	1	5	0	20	cozinha verga oeste						
p	0.60	2.60	0.00	270	0	0.35	0.15	2.60	1	5	0	20	cozinha oeste						
p	0.60	2.95	0.00	180	0	0.60	0.15	2.60	1	5	0	20	cozinha sul						
p	0.00	3.10	0.00	270	0	0.80	0.15	2.60	1	2	0	20	quarto 2 oeste						
p	0.00	3.90	0.00	270	0	1.50	0.15	0.90	1	2	0	20	quarto 2 peitoril						
p	0.00	3.90	0.90	270	0	1.50	0.01	1.20	4	2	0	20	quarto 2 janela						
p	0.00	3.90	2.10	270	0	1.50	0.15	0.50	1	2	0	20	quarto 2 verga						
p	0.00	5.40	0.00	270	0	0.80	0.15	2.60	1	2	0	20	quarto 2 oeste						
PAREDES INTERNAS																			
p	0.75	2.95	0.00	0	0	2.00	0.10	2.60	18	2	5	20	cozinha quarto 2						
p	2.75	0.15	0.00	270	0	2.80	0.10	2.60	18	5	6	20	cozinha sala						
p	2.75	2.95	0.00	270	0	1.25	0.10	2.60	18	6	2	20	corredor quarto 2						
p	2.85	4.20	0.00	0	0	1.25	0.10	2.60	18	6	3	20	corredor banho						
p	4.10	2.95	0.00	270	0	1.25	0.10	2.60	18	6	4	20	corredor quarto 1						
p	2.75	4.20	0.00	270	0	2.00	0.10	2.60	18	3	2	20	banho quarto 2						
p	4.10	4.20	0.00	270	0	2.00	0.10	2.60	18	3	4	20	banho quarto 1						
p	4.10	3.05	0.00	0	0	3.05	0.10	2.60	18	4	6	20	sala quarto 1						
Elementos triangulares (código t)																			
dados por P1 (X,Y,Z), P2 (X,Y,Z) e P3 (X,Y,Z), espessura, material, zonaD, zonaF, temp.inic.e nome																			
t	0.00	0.00	2.60	0.00	6.35	2.60	0.00	3.175	4.08	0.15	1	7	0	20	frontão oeste				
t	7.15	0.00	2.60	7.15	6.35	2.60	7.15	3.175	4.08	0.15	1	7	0	20	frontão leste				
Descrição dos materiais (código m)																			
cód	condT	calEsp	mEsp	alfas(RGB)	taus(RGB)	absAcust(63	125	250	500	1k	2k	4kHz)	fonte(R,G,B)	espPadr	codTex	nome
Onde:																			
condT=condutividade térmica																			
calEsp=calorespecífico																			
mEsp=massa específica																			
alfas face externa=absortividade (vermelho, verde, azul)																			
alfas face interna= absortividade (vermelho, verde, azul)																			
taus=transmissividade (vermelho, verde, azul)																			
absAcust = série de 7 valores																			
fonte = emissão de luz (vermelho,verde,azul)																			

espPadr=espessura padrão (se diferente de zero, substitui espessura de cada peça)

codTex=código da textura (somente para renderização - operação não aconselhada)

nome

m		0.67	1080	1000	0.1	0.9	0.9	0.1	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	0.15
4	(1)	alvenaria																						
m		0.15	1500	500	0.1	0.9	0.8	0.1	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	0.03
2	(2)	madeira porta																						
m		1.0	1100	2400	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.06	0.07	0	0	0	0.0
8	(3)	concreto maciço																						
m		1.0	1100	2400	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.9	0.9	0.9	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0	0	0	
0.005	1	(4) vidros (vidraça de janela nбр)																						
m		0.60	1100	1500	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0	0	0	0.10
4	(5)	alvenaria interna gesso 0,01cm ambos os lados																						
m		0.15	1500	650	0.1	0.9	0.8	0.1	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	
0.005	2	(6) madeira compensada para forro																						
m		0.60	1000	2000	0.0	0.4	0.5	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	
0.015	14	(7) telhas																						
m		100	10000	1000	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	5000	5000	5000	0.0
9	(8)	lâmpada:somente para renderização																						
m		0.3	1100	1500	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0.02
1	(9)	vidro duplo																						
m		0.10	1500	550	0.1	0.9	0.8	0.1	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	
0.025	2	(10) madeira maciça pinho																						
m		0.113	1500	383	0.1	0.9	0.8	0.1	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	
0.075	2	(11) madeira maciça pinho parede dupla																						
m		0.27	1080	1000	0.1	0.9	0.8	0.1	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	0.15
4	(12)	alvenaria+ar+madeira (interna)																						
m		0.12	1000	600	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.20	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.05	0	0	0	0.20
8	(13)	concreto celular alveolar																						

[illegible]

```

ts  2 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16
ts  3 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts  4 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts  5 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts  6 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
ts  7 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
ts  8 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts  9 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts 10 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts 11 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
ts 12 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16

```

Temperatura do solo sintética mensal (código tms)

mês

temperatura máxima diária

temperatura mínima diária

tms 7 14 14

Clima sintético mensal (código tm)

mês

temperatura máxima diária

temperatura mínima diária

tma 1 38 21

tma 2 39 20

tma 3 34 18

tma 4 36 16

tma 5 31 10

tma 6 27 5

tma 7 27 6

tma 8 33 6

tma 9 33 10

tma 10 35 15

tma 11 34 14

tma 12 38 17

Clima sintético mensal (código ta)

mês

série horária de temperaturas

```

ta 6 9.8      8.9      8.7      8.5      7.4      7.2      6.2      6      7.2      9.8      12.3      16.1      18.4      21.3      22.7      21.4      27.8      25.3      18.7
      14.9      13.6      13      11.4      10.9      9.8

```

Clima analítico anual, hora a hora (código tm2)

DadosClimáticosJoinville2011doSONDAnoFormatoMESTRE

Cod Mês Dia Hora RadDireta(2/3daGlobal) RadDifusa(1/3daGlobal) Temperatura

tm2 1 1 1 0.000 0.000 21.9

...

ANEXOS

ANEXO 1 – Dados das temperaturas médias em Joinville, disponibilizados pela Univille

ANEXO 2 – Dados das médias da umidade relativa em Joinville, disponibilizados pela Univille

ANEXO 3 – Carta bioclimática para o Brasil, conforme Goulart *et al* (1994)

ANEXO 1 – Dados das temperaturas médias em Joinville, disponibilizados pela Univille

	Temperatura Média (em °C)															
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
jan	26,70	27,10	25,80	24,00	24,80	28,23	26,66	26,06	25,22	25,60	27,40	25,93	24,97	25,24	26,40	27,57
fev	26,60	29,00	25,30	24,50	25,50	28,43	25,66	28,17	25,33	26,26	26,88	26,32	25,79	26,38	27,81	26,59
mar	23,80	25,20	25,20	24,80	33,10	29,50	31,00	26,05	24,70	25,67	26,36	27,82	25,73	26,71	25,99	24,27
abr	25,50	24,00	24,40	21,30	23,60	27,15	24,32	23,43	19,38	24,20	23,38	24,60	23,21	24,30	23,16	23,79
mai	21,10	20,50	22,00	18,40	20,80	22,68	22,12	20,60	24,70	21,79	19,62	19,43	20,76	21,23	20,69	20,63
jun	16,90	18,00	18,90	16,60	18,60	21,86	19,33	20,21	18,77	21,57	19,73	19,31	17,86	17,73	18,58	17,71
jul	15,30	17,80	18,70	16,80	14,00	17,49	17,87	18,63	17,14	18,54	20,31	16,70	19,49	17,06	18,19	17,23
ago	17,10	17,60	20,30	17,60	15,80	19,90	19,47	17,58	18,64	20,82	19,52	17,50	19,48	19,65	17,76	17,89
set	18,30	20,90	18,10	17,30	23,70	19,75	18,78	19,42	20,83	18,27	19,36	21,26	19,19	20,05	20,21	18,97
out	22,40	20,50	20,30	19,50	16,60	22,68	23,17	21,75	20,93	21,26	21,94	22,88	21,34	21,26	21,09	22,18
nov	23,70	22,70	20,60	20,90	23,70	23,75	24,39	23,85	23,44	23,40	23,17	23,28	22,16	26,70	23,53	22,52
dez	26,30	25,70	23,80	23,40	25,20	25,29	25,28	24,39	24,46	24,19	23,18	25,65	24,62	26,67	24,20	
Média	21,98	22,42	21,95	20,43	22,12	23,89	23,17	22,51	21,97	22,63	23,00	22,55	22,05	22,75	22,30	

ANEXO 2 – Dados das médias da umidade relativa em Joinville, disponibilizados pela Univille

Umidade Relativa (em %)																
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Jan	69,30	83,80	94,50	91,00	85,40	85,26	77,52	79,05	78,23	80,72	75,14	76,72	76,72	74,39	80,62	80,91
Fev	72,10	85,70	95,30	84,30	81,40	90,46	75,74	76,79	74,43	73,74	75,12	76,92	76,92	78,76	78,00	84,61
Mar	75,50	90,20	91,00	87,50	82,10	90,43	78,80	78,12	75,83	80,02	76,99	74,16	74,32	75,79	79,25	84,16
Abr	73,00	84,10	89,30	83,60	81,10	93,56	84,00	79,00	82,62	82,78	76,50	79,25	79,26	75,89	80,46	82,13
Mai	75,00	89,00	87,80	81,50	82,40	90,40	84,00	73,78	80,13	81,44	73,49	84,16	84,16	78,37	80,34	81,35
Jun	77,20	90,40	90,10	63,90	82,30	84,33	85,14	83,32	83,05	82,35	79,12	80,35	80,35	78,07	80,22	81,73
Jul	69,30	91,00	94,20	87,90	78,70	80,69	80,11	84,27	84,47	85,38	75,86	79,26	79,26	83,59	84,42	85,35
Ago	75,00	90,20	91,00	81,60	84,80	83,55	84,03	76,14	80,24	79,18	74,23	80,87	80,87	77,06	78,84	82,92
Set	73,00	94,30	93,20	81,80	81,20	85,00	80,10	78,54	84,41	83,28	75,57	76,26	76,26	85,29	80,23	80,09
Out	72,20	93,50	88,30	81,50	86,80	79,10	81,82	76,73	76,21	83,03	77,29	77,72	77,72	80,48	73,42	79,85
Nov	74,00	93,20	85,70	76,50	78,70	87,30	74,88	70,50	74,34	78,25	76,41	72,58	72,58	77,39	74,29	75,86
Dez	77,20	88,60	82,30	82,90	79,40	84,90	79,24	75,73	75,41	76,51	76,42	73,29	73,29	74,92	81,82	
Média	73,57	89,50	90,23	82,00	82,03	86,25	80,42	77,67	79,11	80,53	76,00	77,62	77,64	78,33	79,33	

